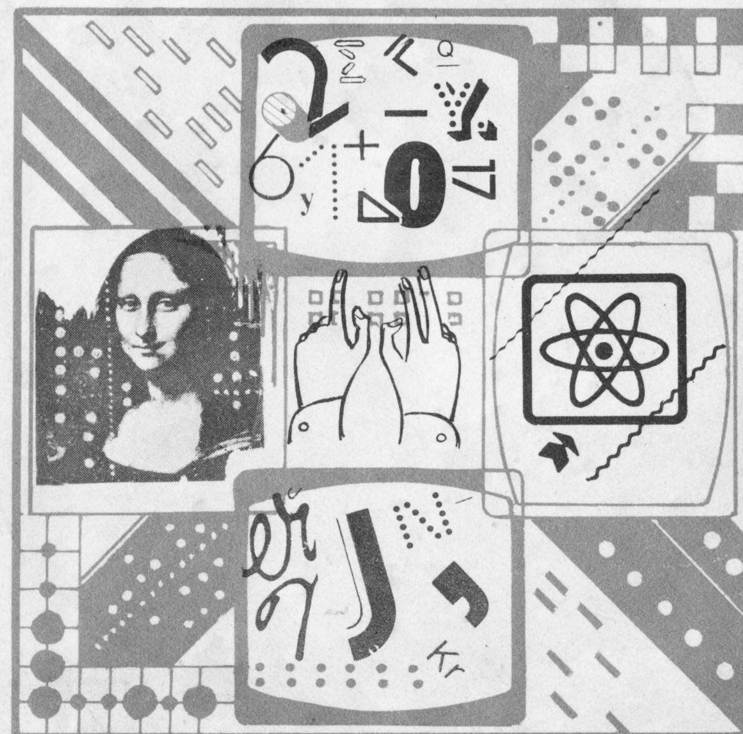
ȘTIINȚA PENTRU TOȚI

313

MIHAELA GORODCOV
MIHAIL ONCESCU

Interferențe în lumea calculatoarelor





Volumul își propune să prezinte cîteva dintre multiplele aspecte legate de implementarea calculatoarelor în cele mai diferite domenii de activitate de la artă la robotică, de la tehnologii „clasice" la abordări îndrăznețe ale noțiunilor de componentă electronică și de arhitectură modernă, încercînd să răspundă la cîteva dintre întrebările extrem de acute ale prezentului. Care va fi calculatorul de miine? Cît de inteligent va fi? Cît de miniaturizat?... Întrebările, ca și răspunsurile, rămîn deocamdată deschise, în mare parte doar ipoteze, integrate în noianul de probleme cu care se confruntă specialiștii în pragul mileniului III.

Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică

ISBN 973-29-0016-4 Lei 5,25

CUVÎNT ÎNAINTE

,,Niciodată pe piața comercială nu vor fi vîndute mai mult de 6 calculatoare!"

Howard Aiken, 1950.

Cine a fost Howard Aiken? Creatorul primului calculator electromecanic IBM, MARK 1 (,,în lucru" în anul 1943), cu caracteristici ,,prodigioase" : memora 72 de numere și putea efectua 3 adunări pe secundă!

Cîțiva ani mai tîrziu, în anul 1946, apare ENIAC, considerat primul calculator electronic, care avea înscrisă în datele sale tehnice și performanța efectuării a 5 000 de adunări pe secundă!

Aproape incredibil, dar de acest moment ne despart doar cinci decenii! Ce au însemnat aceste cinci decenii pentru istoria acestui adevărat copil minune al secolului nostru, știm cu toții. Ceea ce a urmat a fost un adevărat carusel de invenții, tehnologii noi, calculatorul electronic bazat pe tuburi cu vid și care ocupa cîteva etaje, devenind un venerabil strămoș cu destinația principală inclusă în termenul de mașină universală!

În 1956 apare tranzistorul, ceea ce a determinat delimitarea celei de a doua generații de calculatoare. Circuitele integrate pe scară largă și foarte largă, și microprocesoarele, marchează a treia și a patra generație de calculatoare. Începe competiția între biți și secunde, vitezele de lucru se măsoară deja în ,,giga", ciclurile-mașină în ,,nano" și chiar în ,,pico", capacitățile de memorare ating densități enciclopedice; apar arhitecturi îndrăznețe bazate pe struc-

turi paralele sau de hipercub şi, în consecinţă, maşinile se numesc super şi hipercalculatoare; ne îndepărtăm deci principial, de calculatoarele secvenţiale şi de tehnologiile tradiţionale. Spre calculatorul optic? Spre cel biologic? Sau spre maşina raţională? Întrebări perfect justificate de maşinile orientate spre operaţiile logice (deci spre lucrul cu idei), maşini care au fost imediat integrate în arborele genealogic al familiei sub forma generaţiei a cincea. Numele lor? Maşini cu inteligenţă artificială.

Volumul de faţă îşi propune o sumară incursiune în lumea calculatoarelor şi a implicării lor în cele mai diferite domenii. Evident nu epuizează problema (şi nici nu îşi propune acest lucru). Informatica în accepţiunea prezentului este o disciplină care există şi se valorifică optim numai prin aplicaţiile ei, calculatorul fiind astăzi, fireşte, un mijloc şi nu un scop în sine. El reprezintă cheia de boltă a progresului în orice activitate umană, de la medicină la învăţămînt, de la cercetarea fundamentală la publicistică, de la artă la proiectarea asistată.

Cît de miniaturizat va fi calculatorul electronic? Cît de rapid? Cît de inteligent? Cu ce tehnologii? Cît de uman? Iată cîteva întrebări şi poate, cîteva posibile răspunsuri pe care le veţi găsi în rîndurile care urmează.

Autor

CAPITOLUL I

INFORMAŢIA – NUMITORUL COMUN AL ORICĂREI ACTIVITĂŢI UMANE

Minunata aventură a cunoaşterii umane, determină acumularea prin structurare, a noi şi noi date, informaţii şi cunoştinţe, desăvîrşind dialectic patrimoniul valorilor umanităţii. Apariţia calculatorului electronic, ca element inovator şi principal purtător de progres al tehnologiei informatice, a produs mutaţii profunde acestui fenomen; el este prima unealtă care simultan stochează, creează şi ne facilitează asimilarea informaţiei din perspectiva actului comunicaţional surprins în evoluţia sa istorică: orală (prealfabetică) şi scrisă (prin intermediul tipăriturilor).

Informaţia – aflată într-o explozivă acumulare, consecinţă directă a ritmului şi nivelului dezvoltării societăţii omeneşti – deţine alături de materiile prime şi energie un rol important în producţia de bunuri materiale şi spirituale, constituind în acelaşi timp esenţa propriilor activităţi intelectuale. Aspectul cumulativ nedistructiv, dar perisabil al acesteia, atît în momentul stocării cît şi al prelucrării, reprezintă un element primordial în formularea exigenţelor dezvoltării tehnologiei informaţionale. Pentru a deveni consumabilă – în condiţiile dublării volu-

mului la fiecare 5 ani — informaţia trebuie structurată, obiectivizată şi difuzată. În acest sens noţiunea de cantitate de informaţie poate fi tratată analog cu cea de entropie din mecanica statistică. Dacă cantitatea de informaţie dintr-un sistem este o măsură a gradului de organizare a acestui sistem, atunci entropia unui sistem este măsura gradului de dezorganizare; una este egală cu cealaltă luată cu semnul minus.

Dezvoltarea teoriei şi modelelor informatice, a ştiinţei calculatoarelor s-a datorat cercetărilor desfăşurate la confluenţa dintre logica matematică şi neurofiziologie, domenii incidente noii ştiinţe în constituire acum cinci decenii, cibernetica. Folosirea metodelor algebrei booleene în studiul schemelor cu contacte în electronică, pornindu-se de la modelul celulei nervoase, a constituit nucleul primelor căutări; saltul tehnologic marcat prin realizarea tuburilor cu vid, mijloace ideale pentru a implementa echivalentele circuitelor şi sistemelor neuronice a demonstrat că maşina de calcul „electronică" realizată prin îmbinarea unor astfel de dispozitive de comutaţie se poate dezvolta şi perfecţiona numai pornind de la rezolvarea problemelor ce apar în studiul sistemului nervos. Funcţionarea neuronilor, conform principiului „totul sau nimic", a sugerat fără echivoc alegerea sistemului binar drept cea mai convenabilă bază de numeraţie pentru realizarea viitoarelor calculatoare. Descoperirea tranzistorului, realizarea circuitului integrat şi ulterior a microprocesorului — entitate microelectronică care realizează în funcţionare pentru prima dată, unitatea hardware-software (componenta electronică controlează în întregime, prin resurse proprii, desfăşurarea secvenţei de program) — reprezintă momente decisive

ce au marcat evoluţia acestui domeniu în care permanentă este numai schimbarea.

Tehnologiile informatice şi microelectronice au progresat aproape incredibil în ultimele decenii. Dacă direcţiile principale de evoluţie au fost: perfecţionarea arhitecturii calculatoarelor, compactizarea şi miniaturizarea, accentul s-a mutat în prezent pe elemente de software. Performanţele calculatorului nu vor mai depinde atît de mult de soluţiile constructive — inevitabil aflate sub impactul progresului tehnologic — cît şi de programele ce „animă" structuri hardware standardizate. Tranziţia de la hard la soft, caracteristica acestui deceniu, modifică profund noile tehnologii, ce nu pot exista în afara acestei realităţi.

Calitatea programelor va determina decisiv performanţele calculatorului de mîine. Din această perspectivă maşina de calcul îşi vede amplificată capacitatea de prelucrare, prin integrare în reţele de calculatoare. Informaţia devine un bun comun prin socializarea ei, calculatorul oferindu-i prin facilităţile de interconectare, de integrare în structuri informatice complexe, un cadru nou de existenţă. Procesul informatizării societăţii generează astfel ample transformări în sfera comunicării. Apreciată drept principala materie primă a societăţii de mîine, informaţia solicită ample resurse (umane, materiale, financiare) pentru a fi produsă, stocată, prelucrată şi pentru a avea valoare socială — comunicată. Noua tehnologie informatică este prin realizare comunicaţională. Un calculator de sine stătător prelucrează un set de date conform programului aflat în acel moment în memorie; interconectat într-o reţea, avînd acces la multiple baze de date şi dotat cu interfeţe de comunicare adecvate, serviciile oferite de acesta cresc exponenţial. Folosirea calculatoarelor izolate restrînge „a priori" posibilităţile multiple pe care acestea

le oferă. Vocaţia noii tehnologii informatice este structura, care îi pune cu adevărat în valoare întregul potenţial.

Schimbarea centrului de greutate al industriei şi tehnologiei informatice de la hardware spre software are o semnificaţie aparte. Se recunoaşte prin aceasta, implicit, rolul din ce în ce mai mare pe care inteligenţa, inventivitatea, creativitatea îl au în dezvoltarea societăţii; cunoaşterea devine astfel principalul combustibil al progresului. A învăţa, a şti, iată două verbe a căror semnificaţie gnoseologică primară s-a transformat în însăşi condiţie existenţială. Softul, vîrful de lance al informaticii, prin inimaginabila lui forţă transformatoare în impactul cu orice sferă a activităţii umane, este creaţie, este ştiinţă pusă la îndemîna publicului larg, reprezintă asociativitate şi inventivitate grefate patrimoniului cunoştinţelor umane ca o condiţie a disponibilităţii acestora.

Noua eră — în care informaţia, inteligenţa sînt structurate şi dedublate în produse-program — marchează saltul de la resursele extrinseci fiinţei umane, energia şi materiile prime, spre valorile intrinseci acesteia, creativitatea, iniţiativa, implicarea participativă. Abilitatea transferării unei cantităţi din ce în ce mai mari din munca noastră, maşinilor (indiferent care ar fi acestea), va contura şi mai bine esenţa specificului uman: ceea ce o maşină nu poate face. Este o limită pe care încercăm s-o îndepărtăm din ce în ce mai mult spre graniţa propriilor cunoştiinţe şi posibilităţi. Acest orizont confirmă încă o dată, dacă mai era nevoie, că societatea informaţională îşi caută resurse în inegalabila forţă de creaţie umană. Eliberaţi treptat de muncile rutiniere ne vom găsi dimensiunea propriei personalităţi în munca creativă, bogăţia cea mai de preţ, inepuizabilă, singura generatoare de noi şi noi valori autentice.

CAPITOLUL 2

MICROPROCESORUL A TRANSFORMAT EVOLUŢIA ÎN REVOLUŢIE INFORMATICĂ

Devenit simbolul celei de-a doua revoluţii industriale — bazată pe informatică şi microelectronică — microprocesorul reprezintă, pe scara dezvoltării tehnologice în industria circuitelor integrate, un moment de mare sinteză. Împrumutînd elemente din arhitectura calculatoarelor mari şi valorificînd uriaşul potenţial tehnologic creat la confluenţa cercetărilor din domeniile fizicii, chimiei şi electronicii, microprocesorul marchează saltul calitativ decisiv de la logica de funcţionare cablată la cea programată (o anumită operaţie sau comandă poate fi realizată fie printr-o schemă electronică „clasică" fie printr-un program implementat într-un microsistem numeric de calcul). S-a produs astfel o schimbare structurală, prin simplificare, a principiilor ce stau la baza proiectării sistemelor logice, o enormă putere de prelucrare a informaţiilor devenind accesibilă oricărei categorii de aplicaţii.

Maşina cu aburi, epocala descoperire a lui James Watt, marca la sfirşitul secolului al XVIII-lea înlocuirea definitivă a forţei manuale cu cea maşinistă, a forţei muşchilor cu cea a aburului, deschizînd era industrială, transformînd radical societatea prin profunzimea implicaţiilor de ordin tehnic, social,

politic şi cultural. Se realiza transferul îndemînării omului către maşină. Cea de-a doua revoluţie industrială, fenomen în plină desfăşurare, marchează un alt transfer : cel al inteligenţei umane către maşină. Cum? Prin evoluţia, sau mai corect spus, prin revoluţia tehnologiilor informatice în care microprocesoarele reprezintă una din referinţe. Introducerea lor modifică dintr-o altă perspectivă fizionomia societăţii; descentralizarea prin demonopolizarea prelucrării datelor de către sistemele mari, distribuirea puterii de calcul (fiecare utilizator poate avea acces la propriul ,,micro" calculator), transferul prin reţele de calculatoare a informaţiei la o categorie din ce în ce mai mare de beneficiari, transformă microcalculatorul (sistem elementar de calcul organizat în jurul unuia sau mai multor microprocesoare) în principalul exponent al erei prelucrării informaţiei.

,,Simptomul micro" a cuprins întreaga lume informatică, transformîndu-se într-o omniprezenţă conceptuală : apariţia microprocesorului a generat dezvoltarea microcalculatoarelor, care la rîndul lor au creat infrastructura dezvoltării microinformaticii, imposibilă de înţeles în afara tehnicilor microprogramării. Fenomenul a avut consecinţe psiho-sociale imediate : calculatorul se transformă ,,peste noapte" dintr-un mit, într-un instrument modern de lucru la îndemîna oricărui întreprinzător; informaticianul îşi ,,deconspiră infailibilitatea" devenind un specialist necesar dar înlocuibil — în anumite etape — în cea ce priveşte implementarea aplicaţiilor, de nespecialişti pasionaţi. Realitatea demonstrează că eforturile întreprinse pentru marele public în direcţia celei de-a doua alfabetizări, cea din domeniul calculatoarelor — a limbajelor de programare — transferă o parte din competenţele informaticianului spre nespecialist, ca o consecinţă legică de dezvoltare a domeniului şi a societăţii. Inevitabil, microinformatica îşi demonstrează caracterul de masă ca însăşi condiţie de existenţă şi dezvoltare.

Sistemele cu microprocesoare s-au dezvoltat rapid fiind preferate în toate aplicaţiile în care se poate realiza conducerea după un ,,program" (se are în vedere modelarea, structurarea secvenţială şi elaborarea programului propriu-zis care implementează funcţionarea aplicaţiei), datorită marilor avantaje pe care acestea le oferă; creşterea gradului de integrare a componentelor are drept consecinţe : miniaturizarea sistemului (reducerea gabaritelor plăcilor), reducerea consumului de putere şi creşterea fiabilităţii prin reducerea numărului de conexiuni, toate acestea în condiţiile diminuării substanţiale a preţurilor de cost. O dată realizată structura logică a unui sistem cu microprocesoare, fără a desface legăturile fizice dintre componente, funcţia acestuia poate fi schimbată numai prin modificarea secvenţei de program; flexibilitatea, marele avantaj al logicii programate, transformă aplicaţiile în sisteme versatile, pentru care structura hardware se păstrează, modificările realizîndu-se numai la nivelul software-ului. Ciclul proiectare—testare — punere în funcţiune, se reduce astfel substanţial, cu consecinţe benefice atît pentru executant (creşterea sensibilă a productivităţii muncii), cît şi pentru beneficiar, ce se vede intrat rapid în posesia echipamentului solicitat.

Simplificarea muncii utilizatorilor a fost o preocupare permanentă a oricărei firme producătoare de microprocesoare; din punct de vedere hardware au fost puse la punct configuraţii standard — cu structură flexibilă şi adaptabile cerinţelor unei categorii largi de aplicaţii, noile funcţii, opţional prevăzute,

fiind realizabile prin extensii puţin costisitoare. Şi din punct de vedere software, utilizatorii beneficiază de programe standard : programe monitor, asambloare, compilatoare pentru limbaje de nivel înalt, programe de depanare, toate componente absolut necesare în folosirea noilor sisteme.

Apar fireşti întrebările : Ce este? Ce structură are? Cum funcţionează un microprocesor? Să le abordăm pe rînd.

2.1. Ce este un microprocesor?

Fără a încerca o definiţie exhaustivă — imposibil de formulat de altfel, într-un domeniu atît de dinamic cum este microelectronica — pentru a înţelege semnificaţia noii entităţi informatice, microprocesorul, trebuie făcută o incursiune în istoria domeniului. Cursa aglomerării pe o aşchie de siliciu a unui număr din ce în ce mai mare de componente — tranzistoare, diode, rezistenţe, condensatoare — a început în 1958 cînd Jack Kilby realizează primul circuit integrat. Perfecţionarea tehnicilor de integrare, a permis depăşirea rînd pe rînd a barierelor reprezentate de 100 componente (MSI — Medium Scale Integration) integrare pe scară medie şi 1 000 de componente (LSI — Large Scale Integration) integrare pe scară largă, ajungîndu-se în anul 1971 la realizarea primului microprocesor, de către firma „Intel", microprocesorul pe 4 biţi, 4004. Conceptual, el a apărut ca o consecinţă firească a înlocuirii unor circuite specializate — comandate şi realizate pentru diverşi beneficiari, dar la preţuri necompetitive — de o structură standard ieftină, compatibilă unui număr mare de aplicaţii. Tehnologic, condiţiile obţinerii circuitelor LSI (Large Scale Integration) erau deja

create prin realizarea încă din 1970 a capsulelor de memorie de 1 Kbit.

În aceste condiţii, apariţia noii structuri era iminentă. Previzibil, saltul tehnologic a fost imens : pentru prima dată a fost ştearsă graniţa dintre electronică şi informatică, hardware-ul şi software-ul devenind rezidente pe aceeaşi pastilă de siliciu. Prezentat drept „computer-on-a-chip", microprocesorul a fost prima unitate centrală de prelucrare a informaţiei complet integrată (dispozitivul aritmetic şi de comandă) ; prin ataşarea în exterior a circuitelor de memorie şi interfaţare (facilităţi de cuplare la diferite aplicaţii) se obţine structura devenită atît de familiară, de sistem pe bază de microprocesor, un calculator în miniatură.

Fără a puncta toate realizările în domeniu, vom aminti de microprocesorul 8008, realizat în 1972 tot de firma „Intel", primul microprocesor single-chip (într-o singură capsulă) pe 8 biţi, a cărui structură se va impune ca nucleu standard pentru dezvoltările ulterioare. Arhitectura de tip bit-silice (microprocesoare realizate în mai multe capsule care se pot conecta în cascadă), pentru procesarea informaţiei în cuvinte de pînă la 32 de biţi, la acel moment (cuvîntul este definit drept un număr binar ce trebuie prelucrat ca o unitate de informaţie), va avea în 1973 ca prim reprezentant circuitul pe 4 biţi, General-Purpose Controller/Processor, realizat de „National Semiconductor".

Odată cu lansarea în 1974 a microprocesorului Intel 8080, tot pe 8 biţi, unul dintre circuitele devenite foarte cunoscute şi întrebuinţate, se trece la generaţia a doua de microprocesoare. Apariţia sa a generat dezvoltarea unei întregi familii (fenomen caracteristic şi altor tipuri de microprocesoare),

familia 8 000 de circuite necesare completării structurii unui microcalculator (microprocesorul nu reprezintă un calculator în sine, ci numai unitatea sa centrală). Au fost realizate circuite de interfaţare, cu transfer programat al datelor, circuite pentru controlul informaţiei pe magistrale pentru controlul echipamentelor periferice cuplate, alte tipuri de circuite auxiliare : pentru generarea semnalelor de ceas, pentru amplificarea şi păstrarea temporară a datelor sau adreselor — bufferele, pentru a aminti doar pe cele mai importante. Ce a marcat trecerea la cea de-a doua generaţie de microprocesoare? Saltul a fost reprezentat de o nouă tehnologie : se trece de la tehnologia PMOS la cea NMOS. Tranzistoarele sînt realizate în structura cip-ului folosind straturi de Metal — Oxide-Semiconductor cu canal de tip P respectiv N. Într-un tranzistor NMOS electronii sînt purtători majoritari — purtători de tip N — în timp ce pentru un tranzistor de tip PMOS, purtători majoritari — purtători de tip P — sînt golurile. Tehnologia PMOS permitea realizarea unor mari densităţi de componente dar viteze mai reduse. Tehnologia NMOS a reprezentat un compromis între densitate şi viteză, permiţînd realizarea unor componente integrate pe scară largă la preţuri accesibile şi într-o producţie de masă. Pentru exemplificare, microprocesorul 8080 este total compatibil cu 8008 dar de aproape 10 ori mai rapid. Durata medie de execuţie a unei instrucţiuni pentru 8008 este de 25 μs în timp ce pentru 8080 este numai de 3,5 μs; capacitatea maximă a memoriei direct adresabilă este de 16 Kocteţi pentru 8008 faţă de 64 de Kocteţi pentru 8080. Tot un microprocesor pe 8 biţi, dar cu un set de instrucţiuni mai puternic şi posibilităţi de conectare în sisteme simplificate — o singură tensiune de ali-

mentare faţă de trei, pentru 8080 —, este microprocesorul Z80 realizat de firma „Zilog"; amintim în categoria perfecţionărilor pentru acelaşi tip de microprocesoare şi produsele firmelor „Intel" cu 8085, „Motorola" cu M6800 şi „Fairchild" cu F-8 pentru a enumera doar cîteva.

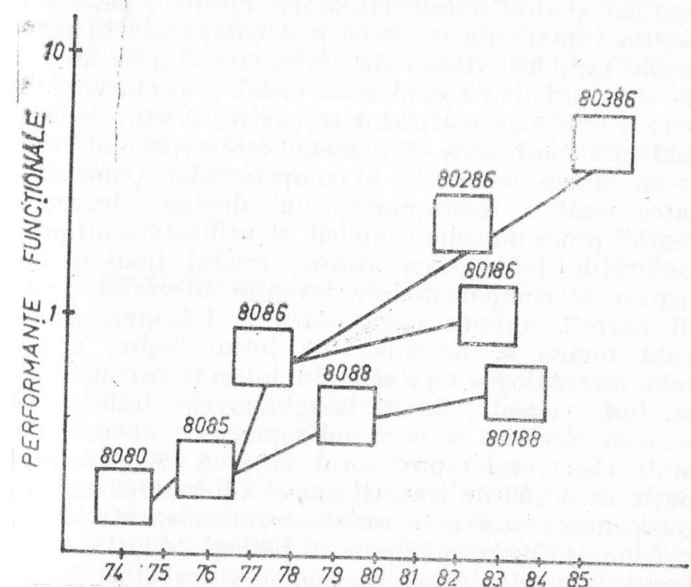
Anul 1978 va marca apariţia microprocesoarelor pe 16 biţi şi trecerea la cea de-a treia generaţie. Cu aceste circuite se ajunge la etapa integrării pe scară foarte largă (VLSI — Very Large Scale Integration), caracterizate printr-o densitate cuprinsă între 10 000 şi 100 000 de componente pe cip. Firma „Intel" produce microprocesorul 8086 — realizat în tehnologia HMOS (High performance MOS), „Zilog" pe Z8000, „Motorola" pe M68000 şi multe altele. Concomitent cu creşterea densităţii de integrare cresc şi vitezele de prelucrare precum şi dimensiunile memoriei direct adresabile pentru noile tipuri de microprocesoare. Durata medie de execuţie a unei instrucţiuni a ajuns la 0,5 μs pentru Intel 8086, primul microprocesor pe 16 biţi de mare performanţă, în timp ce capacitatea maximă a memoriei direct adresabile a ajuns la 1 Moctet, totul realizat cu o densitate de 29 000 de tranzistoare pe pastila de siliciu. Extinsă la indicele 80 000, pentru facilitarea codificării, familia de componente Intel include variante perfecţionate de microprocesoare pe 16 biţi : 80 186, 80 188, pentru care durata medie de execuţie a unei instrucţiuni a ajuns la 100 ns, sînt prevăzute facilităţi noi de adresare a memoriei şi un set cu 10 instrucţiuni mai puternic decît perechea 8086, 8088, dar total compatibile cu acestea.

Arhitectura noilor microcalculatoare pe 16 biţi a impus dezvoltarea unor microprocesoare specializate, dedicate unor anumite tipuri de funcţii — co-

procesoarele — ce vizează fuziunea într-o măsură mai mare a elementelor hardware cu cele software. Se are în vedere integrarea în structuri microelectronice compacte a unor microprocesoare şi a celorlalte circuite specializate complementare pentru : recunoaşterea vorbirii, prelucrarea imaginilor, folosirea unor biblioteci de funcţii matematice evoluate, a compilatoarelor pentru limbajele de programare de nivel înalt (FORTRAN, ADA, PASCAL etc.), a sistemelor de operare precum şi a altor elemente software.

Spirala dezvoltării tehnologice consemnează începînd cu anii 1981—1982 apariţia microprocesoarelor pe 32 de biţi. Reprezentante ale circuitelor SLSI (Super Large Scale Integration — numărul de componente integrate pe cip depăşeşte 100 000) aceste microprocesoare au dus la proiectarea unor microcalculatoare deosebit de puternice, multe dintre ele superioare ca performanţe ,,vechilor'' calculatoare de capacitate medie-mare ale anilor '70. Ele au posibilitatea de rulare directă a programelor scrise în limbaje de nivel înalt. Firma ,,Intel'', pentru a ne referi la acelaşi etalon, unul dintre cei mai mari producători de asemenea componente, prezintă la sfîrşitul anului 1985 microprocesorul 80386. Performanţele lui sînt impresionante : durata medie de execuţie pentru o instrucţiune a ajuns la 50 ns, memoria fizică (memoria principală) direct adresabilă este de 4 Gocteţi, în timp ce memoria virtuală (spaţiu de adresare foarte mare creat prin integrarea în sistem a unei memorii externe de mare viteză) este de 64 Tetraocteţi, este posibilă prelucrarea simultană a informaţiei în diferite subsisteme ale microprocesorului şi toate acestea în condiţiile unor cuvinte de

date sau adrese de 32 de biţi. Pentru o mai sugestivă reprezentare, dinamica produselor de tip microprocesor ale firmei ,,Intel'' este prezentată în fig. 1.



1. Microprocesoarele familiei ,,Intel''.

Această succintă prezentare a evoluţiei domeniului surprinde prin cîteva ,,evidenţe''. Dezvoltarea noilor generaţii de microprocesoare (în cadrul aceleiaşi familii) se face prin incluziune. Varianta perfecţionată de componentă include în totalitate vechile structuri (atît sub aspect hardware cît şi software pentru asigurarea compatibilităţii programelor deja elaborate) ; setul de instrucţiuni al noilor micro-

procesoare dezvoltă cîteva funcţii noi, regăsibile şi în structura cip-ului, dar păstrează nucleul deja existent. Cu cît complexitatea structurală a microprocesoarelor şi deci a calculatoarelor creşte — pentru a realiza funcţii din ce în ce mai complicate în condiţiile creşterii vitezei de prelucrare — este nevoie de structuri mai complexe — ciclul proiectare-realizare a unui nou calculator se păstrează sau, de cele mai multe ori scade. Fenomenul este explicabil printr-un proces de transfer al competenţelor. Complexitatea reală a microprocesorului devine „transparentă" proiectantului (implicit şi utilizatorului) prin facilităţile tehnologice atinse; gradul înalt de integrare al componentelor, devenite adevărate „cutii negre", impune cunoaşterea şi folosirea adecvată numai a mărimilor de intrare/ieşire, a datelor de catalog şi nu a modului intim în care acestea au fost realizate. Să ne imaginăm că desfăşurăm schema electrică a unui microprocesor devenit de mult clasic, microprocesorul Intel 8 080. Nu mai puţin de 4 500 de tranzistoare şi alte cîteva mii de componente pasive — rezistenţe, condensatoare — vor umple cîţiva zeci de metri pătraţi de hîrtie, acoperiţi de o reţea deasă de semne şi simboluri desfăşurate într-o ordine şi cu o precizie desăvîrşită. Şi toată această putere de calcul concentrată într-o capsulă ce cîntăreşte doar cîteva grame şi are 40 de pini („un gîndac" cu crustă neagră de plastic şi 40 de piciоruşe). Pe de altă parte, putem afirma fără să greşim: „Calculatorul s-a construit pe sine însuşi în anumite etape tehnologice". Este greu de imaginat că toate cercetările, punerea la punct a noilor tehnologii s-ar fi putut realiza în afara prelucrărilor numerice, a preciziei şi vitezei de procesare oferite de calculatorul, cu o generaţie mai mică decît confratele aflat atunci, încă în memorie.

Actualele microprocesoare, circuite de memorie, cablaje imprimate cît şi o parte a software-ului utilizat, nu pot fi înţelese în afara acestor realităţi. Categoric un calculator al zilelor noastre nu este mai simplu decît unul proiectat cu patru decenii în urmă, dar el este, indiscutabil, mult mai uşor de realizat şi implicit de utilizat. Indiferent de tipul ei, tehnologia de realizare a componentelor microelectronice are în continuare o contribuţie majoră în strategia dezvoltării domeniului.

2.2. Microprocesorul — un calculator într-un cip

Pentru a putea intra în intimitatea structurală şi funcţională a unui microprocesor, se impun la început, cîteva precizări cu totul generale. Microprocesorul nu poate fi înţeles în afara conceptului de componentă ce realizează pentru prima dată unitatea hardware-software, întreaga lui structură şi funcţionare fiind orientată în direcţia prelucrării de informaţie cu circuite (subsisteme) specializate. Tipul de informaţii pe care le poate vehicula şi procesa sînt: date, adrese, instrucţiuni. Datele reprezintă numere binare care fac obiectul prelucrărilor curente; adresele sînt de asemenea numere binare care indică „locul" (adresa) din memoria sistemului unde se găsesc anumite date sau instrucţiuni; instrucţiunile reprezintă coduri numerice ale operaţiilor ce urmează a fi executate de microprocesor; operaţii de tipul „citeşte", „scrie", „adună", nu au nici o semnificaţie decît în măsura în care sînt convertite în coduri numerice recunoscute de microprocesor. Programul care este rulat la un moment dat — o suc-

cesiune de instrucţiuni organizate după reguli specifice limbajului în care au fost scrise, — transformat în coduri numerice în urma cîtorva prelucrări ajutătoare (asamblare, compilare, link-editare) nu face decît să indice operaţiile elementare de executat şi fluxurile de date de la, şi spre subsistemele de intrare/ieşire (porturi, magistrale). Din această perspectivă, apariţia microprocesoarelor a determinat afirmarea puternică a conceptului de informatică distribuită. Microprocesoarele au devenit componente ideale pentru diversificarea reţelelor informatice — prin facilităţile de interconectare oferite —, contribuind la creşterea sensibilă a eficienţei oricărui tip de prelucrări numerice. Sistemele de calcul dezvoltate în jurul microprocesoarelor devin noduri ale acestor reţele asigurînd actului comunicaţional un cadru lărgit de existenţă.

Structural, microprocesoarele sînt expresia unui firesc proces de standardizare : de la circuite specializate, comandate şi realizate de diverşi beneficiari (custom design) s-a ajuns la structuri funcţionale unitare şi versatile. Şi totuşi, diverse aplicaţii solicită circuite a căror funcţie nu poate fi preluată de nici una din structurile standard existente la un moment dat, oricît de perfecţionate ar fi acestea. Industria microelectronică a păstrat deci „vechile obiceiuri". La cerere se pot elabora microprocesoare (componente) speciale, sau aşa cum sînt cunoscute ASIC (Application Specific Integrated Circuits) — circuite integrate pentru aplicaţii dedicate. Fenomenul, dincolo de efortul tehnologic considerabil — reflectat de altfel şi în preţul de cost — se constituie în veritabile încercări de laborator care validează sau nu, idei noi, tehnologii noi. Cerinţele diverselor aplicaţii, asigură în cele din urmă, feed back-ul necesar în evaluarea strategiilor de dezvoltare.

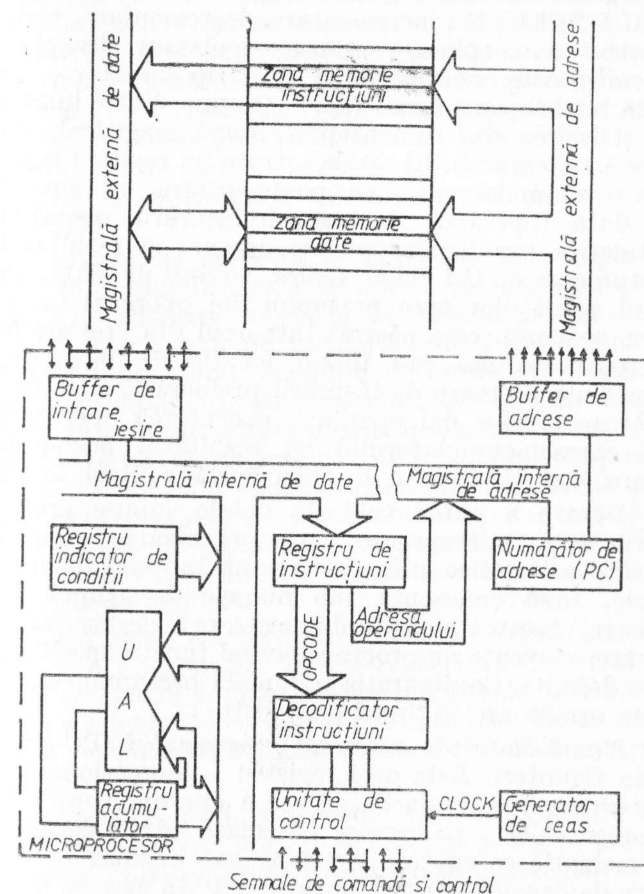
Diversitatea structurală ascunde însă, sub aspect funcţional, cîteva caracteristici principale. Funcţionarea unui microprocesor — al oricărui sistem de calcul indiferent de tipul acestuia — este deterministă, în sensul coordonării stricte în timp a tuturor operaţiilor ce se desfăşoară ; acest lucru este posibil prin intermediul unui subsistem specializat — circuitul de ceas — un adevărat „dirijor", care „bate măsura" şi care îi determină întreaga funcţionare şi viteză de prelucrare a datelor. De asemenea, avîndu-se în vedere cantitatea imensă de informaţie pe care are capacitatea s-o vehiculeze şi s-o prelucreze, trebuie sesizate exact legăturile pe care microprocesorul le poate stabili cu zona de memorie cu care este cuplat. Din această zonă citeşte date şi instrucţiuni şi înscrie date prin instrucţiuni specializate, asigurînd cuplarea cu „exteriorul", prin dispozitive specializate de tip consolă operator (display, tastatură). Memoria microsistemului organizată sub forma celulelor sau locaţiilor de memorie, poate fi împărţită în mai multe zone ; dintre acestea o distincţie netă trebuie făcută între zona de memorie de date şi cea de instrucţiuni (unde este depus programul). Cuvintele, care reprezintă date sau instrucţiuni, au aceeaşi lungime, semnificaţia lor pentru microprocesor fiind însă, total diferită. Revine proiectantului/programatorului sarcina de a le separa pentru a asigura funcţionarea corectă a microsistemului.

2.3. Care este structura unui microprocesor?

Evitînd particularizări nesemnificative se prezintă elementele structurale minimale pentru o uni-

tate centrală integrată cu magistrală de date de 8/16 biți. Un microprocesor dispune de următoarele resurse hardware: unitate aritmetică și logică (UAL), blocul de control logic și grupul de registre (fig. 2). Interconectarea acestora se realizează prin intermediul magistralelor de date și adrese, informația vehiculată fiind gestionată de blocul de control logic prin intermediul semnalelor de control organizate sub forma magistralei de control. Indiferent de tipul microprocesorului, prelucrarea informației se face la nivel de cuvînt; acest tip de prelucrare presupune interpretarea la un moment dat a întregului cuvînt de date, de adresă, sau codul unei instrucțiuni — și nu secvențial, bit cu bit. Definitorie în ceea ce privește arhitectura unui microprocesor prin însăși dimensiunea ei este magistrala de date; în funcție de tipul microprocesorului se transportă cuvinte de 4, 8, 16 sau 32 de biți, magistrala de date fiind întotdeauna bidirecțională (informația poate circula între diferitele componente ale microprocesorului în dublu sens). Cel de-al doilea vector în ceea ce privește deplasarea informației, îl constituie magistrala de adrese; unidirecțională, magistrala pornește din microprocesor și asigură transportul cuvîntului de adresă spre memoria sistemului în vederea selectării unei anumite locații. O magistrală de adrese de 16 biți poate selecta $2^{16} = 65\,536$ locații de memorii. Atît magistrala de date cît și cea de adrese, interne microprocesorului, sînt conectate la magistralele externe de date și adrese ale sistemului, comunicînd informații între unitatea centrală de procesare și celelalte componente ale microcalculatorului.

Unitatea Aritmetică și Logică (UAL) este acel circuit din structura unui microprocesor care prelucrează informații sub forma operațiilor aritmetice



2. Structura generală a unui microprocesor.

şi logice elementare (adunare, scădere, ŞI, SAU, SAU EXCLUSIV, incrementare, decrementare, complementare, deplasare stînga, deplasare dreapta). Circuitul este combinaţional — de tip sumator — cu două intrări şi o singură ieşire (fiecare dintre intrări cît şi ieşirea sînt dimensionate după magistrala de date a sistemului). El are la intrare un registru tampon — acumulatorul — ce poate păstra un cuvînt de date (operand) necesar desfăşurării operaţiei aritmetice sau logice curente precum şi rezultatul postprocesare. Cel de-al doilea cuvînt de date, în cazul operaţiilor care presupun doi operanzi (adunare, scădere), este păstrat într-unul din registrele microprocesorului sau într-o locaţie de memorie. Comenzile necesare desfăşurării prelucrării efective : încărcarea celor doi operanzi, executarea operaţiei, încărcarea acumulatorului cu rezultatul post-procesare sînt gestionate de blocul de control logic.

Pentru a putea vehicula datele supuse prelucrării, orice microprocesor are organizată în jurul unităţii aritmetice şi logice o zonă limitată de memorie, zonă cunoscută sub numele de grupul de registre. Acestea sînt absolut necesare în desfăşurarea oricărei secvenţe de program, avînd funcţii specifice, bine definite. Configuraţia minimală presupune existenţa următoarelor tipuri de registre :

Numărătorul de adrese al programului (PC-Program Counter). Este acel registru — dimensionat în funcţie de magistrala de adrese a microprocesorului şi conectat ei — în care se păstrează adresa locaţiei de memorie ce conţine instrucţiunea imediat următoare de executat ; este „anticamera" în care se păstrează informaţia (adresa) despre instrucţiunea următoare, astfel încît microprocesorul „să nu uite" unde a rămas în desfăşurarea secvenţei de program.

Valoarea acestui contor este automat incrementată cu o unitate, după ce instrucţiunea a fost citită din memorie, poziţionîndu-se pe următoarea adresă. Existenţa ramificaţiilor — consecinţa operaţiilor de decizie — materializate prin instrucţiunile de salt, dă posibilitatea prescrierii (modificării) valorii contorului PC în care se introduc adresele unde „sare" programul, altele decît cele ale numărării în ordine naturală.

Registrul de adresare a memoriei. Este registrul prin intermediul căruia se aplică pe magistrala externă de adresare, cuvîntul de adresă pentru selectarea unei locaţii de memorie sau a unui port de intrare/ieşire fiind denumit şi buffer de adresare (registru tampon). El este conectat atît la magistrala internă de adrese a microprocesorului cît şi la cea externă a sistemului (deci la pinii capsulei) fiind dimensionat după acestea. Este încărcat prin transfer cu valoarea contorului PC, dar există şi facilităţi de programare care permit adresarea memoriei cu valori diferite de cea a contorului PC, în funcţie de context.

Registrul intrare/ieşire. Similar registrului de adresare a memoriei acesta reprezintă buffer-ul de date (registrul tampon) între magistrala internă de date a microprocesorului şi cea externă a sistemului ; acest registru vehiculează cuvinte de date şi instrucţiuni.

Registrul de instrucţiuni. Înaintea aplicării instrucţiunii curente unităţii aritmetice şi logice pentru execuţie (instrucţiunea a fost adusă prin registrul de intrare/ieşire din memorie pe magistrala microprocesorului) se face o copie a acestuia în registrul de instrucţiuni. Instrucţiunea este structurată în : *codul operaţiei* propriu-zis (OPCODE) — valoarea numerică

asociată — şi numai pentru anumite instrucţiuni *cîmpul adresei operandului*. Spaţiul rezervat pentru adresa unei locaţii de memorie unde se poate citi operandul, de exemplu : instrucţiunea LDA adr. conţine trei octeţi. Primul specifică codul operaţiei (OPCODE), iar următorii doi adresa de memorie unde se va citi numărul (operandul). Codul instrucţiunii (OPCODE) se aplică unui alt circuit, decodificatorul de instrucţiuni, care generează succesiunea de semnale de control necesare execuţiei instrucţiunii, prin intermediul unităţii de control. Cîmpul adresei operandului se aplică firesc registrului de adresare a memoriei pentru selectarea locaţiei de memorie şi aducerea valorii numerice căutate.

Registrul acumulator (A). Este registrul care participă la executarea celui mai mare număr de instrucţiuni din microprocesor (cel mai utilizat registru). Prezent la intrarea în UAL şi conectat la magistrala de date a microprocesorului, el are dimensiunea acesteia. Acumulatorul are rol în păstrarea datelor atît înaintea cît şi după execuţia instrucţiunii — atunci cînd acest lucru este specificat prin conţinutul acesteia. Există structuri de microprocesoare prevăzute cu mai multe acumulatoare A, B, C etc. Avantajele unor astfel de structuri constau în facilităţi suplimentare de programare.

Registrul indicatorilor de condiţii. Acest registru grupează un set de fanioane, care citite simultan constituie alături de acumulator cuvîntul de stare al programului PSW (Program Status Word). Fiecărui fanion îi corespunde un bit în structura cuvîntului de stare. Semnificaţia fiecărui bit este bine specificată şi asociată unor teste care se fac în timpul execuţiei diverselor instrucţiuni (conform codului acestora). Această facilitate a fost creată

pentru realizarea de ramificaţii în programe prin testarea unuia sau altuia dintre fanioane (biţi de stare) folosind instrucţiuni de salt specializate (se schimbă ordinea naturală de parcurgere a instrucţiunilor în funcţie de acest test). Condiţia de salt este poziţionarea logic „1" a bitului testat.

O structură standard presupune existenţa a trei astfel de fanioane : depăşire/împrumut (CARRY/BORROW), zero şi semn.

Depăşire/Împrumut (CARRY/BORROW); acest fanion este setat (trecut în starea logic 1) cînd în urma unei adunări rezultatul depăşeşte capacitatea de reprezentare a registrului (apare o depăşire cu un rang la stînga) sau în urma unei scăderi apare un împrumut (scăzătorul este mai mare decît descăzutul).

Zero; acest fanion este setat cînd în urma unei operaţii efectuate cuvîntul de date rezultat are toţi biţii 0.

Semn (Sign); acest fanion este setat cînd cel mai semnificativ bit al registrului (MSB — Most Significant Bit — primul din stînga) are valoarea 1. Un număr negativ, prin convenţie, reprezentat în complement faţă de 2, are acest bit 1.

Celor trei indicatori de condiţie din cuvîntul de stare al programului, li se pot adăuga şi alţi indicatori în limita biţilor de stare rămaşi disponibili.

Indicatorul de transport auxiliar (AC — Auxiliary Carry); acest fanion este setat atunci cînd apare un transport (rezultatul nu poate fi reprezentat folosind numai primii 4 biţi, cei mai puţin semnificativi ai cuvîntului de date şi se trece la reprezentare folosind şi următorii patru biţi, mai semnificativi ai cuvîntului de date), din bitul 3 în bitul 4 (fig. 3).

Indicatorul de paritate (P — Parity); acest fanion este setat dacă în urma unei operaţii cuvîntul

de date are un număr par de biţi cu valoarea 1 (suma modulo 2 a biţilor rezultatului este 0).

Registre de utilizare generală. Aceste registre permit creşterea considerabilă a facilităţilor de prelucrare pe care le oferă un microprocesor. Similare registrului acumulator, aceste registre pot vehicula

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0

3. Punerea în evidenţă a transportului auxiliar (AC) între B3 şi B4 în urma unei operaţii de adunare.

cuvinte de date sau adrese cu ajutorul unor instrucţiuni specializate. Ele sînt dimensionate în funcţie de magistrala de date a sistemului; pot fi folosite însă şi cîte două – registre pereche (exemplu, în cazul microprocesorului Intel 8 080, au fost prevăzute trei perechi de registre de cîte 8 biţi fiecare B şi C; D şi E; H şi L).

Stiva (STACK). Este o zonă de memorie creată după modelul registrelor de utilizare generală (perechi de locaţii de memorie) şi destinată păstrării temporare a unor adrese, unde programul „a rămas" în desfăşurare atunci cînd are loc apelul unei subrutine, o cerere de întrerupere, sau atunci cînd utilizatorul doreşte păstrarea unei informaţii anume, folosind instrucţiuni specializate. Similar registrului CP care păstrează evidenţa instrucţiunilor în desfăşurare şi în cazul stivei există un registru (numărător indicator de stivă – Stack Pointer) care păstrează adresa „vîrfului stivei", adresa primei locaţii libere din

totalul celor rezervate şi funcţionează prin decrementare. Principiul de funcţionare al stivei este de tip LIFO (Last In First Out – ultimul intrat este primul ieşit). Să exemplificăm : într-un moment al desfăşurării programului este necesară salvarea consecutivă a perechilor de registre BC, DE şi HL; cu instrucţiunea PUSH se introduce în stivă conţinutul perechii de registre BC apoi DE şi ultimul HL. Refacerea conţinutului registrelor presupune folosirea instrucţiunii POP, prima pereche de registre restabilită fiind HL apoi DE şi ultima BC.

Unitatea de control logic. Acest subsistem supervizează funcţionarea corectă a întregului microprocesor precum şi integrarea lui în microsistem. Unitatea de control generează o serie de semnale în urma decodificării instrucţiunii, a cărei cereri de întrerupere primite de la unul din componentele microsistemului (de obicei un echipament periferic) şi a impulsurilor de ceas. Unitatea de control funcţionează în general prin microprogramare.

2.4. Cum funcţionează un microprocesor?

Efectul direct al funcţionării unui sistem cu microprocesor este înlănţuirea în execuţie a instrucţiunilor ce constituie o anumită secvenţă de program. Structura hardware prezentată anterior permite înţelegerea funcţionării microprocesorului prin surprinderea fluxurilor de informaţie şi a etapelor prelucrării acestora de diferitele subsisteme (circuite) specializate.

Orice calculator – deci şi un sistem de calcul organizat în jurul unui microprocesor – nu poate executa decît instrucţiuni care sînt reprezentate intern sub formă numerică – şiruri de cifre binare.

Un astfel de program este cunoscut sub numele de program în limbaj cod calculator (cod mașină). A scrie un astfel de program este însă dificil și ineficient pentru orice fel de programator, amator sau profesionist. S-au căutat deci, diferite facilități de programare. Prima etapă a constituit-o transformarea reprezentării binare în alte baze de numerație. S-au preferat totuși reprezentări în baze puteri ale lui doi și s-a ajuns astfel la consacrarea pentru reprezentarea numerică a informației în calculator a bazei opt (cifre octale) sau șaisprezece (cifre hexazecimale). Cea de-a doua etapă a fost marcată prin crearea limbajelor de programare, în care instrucțiunile sînt reprezentate sub formă simbolică. Există două nivele ale limbajelor de programare.

Limbajele de asamblare constituie primul nivel. Caracteristica acestora este asocierea fiecărei instrucțiuni — reprezentată intern, în limbaj cod mașină — a unui mnemonic (nume simbol), care sugerează tipul operației respective (exemplu, pentru microprocesorul Intel 8080, ADD B semnifică adunarea conținutului registrului B la acumulator. Transformarea unui program scris în limbaj de asamblare (cunoscut și sub numele de program sursă) în limbaj cod calculator se face cu ajutorul unui program de conversie, numit asamblor. Programul asamblor face să corespundă (translatează) fiecărui mnemonic o singură instrucțiune în cod mașină. Programul sursă, scris în limbaj de asamblare, este dependent de tipul microprocesorului pentru care a fost scris (fiecare tip de microprocesor are un set de mnemonice proprii).

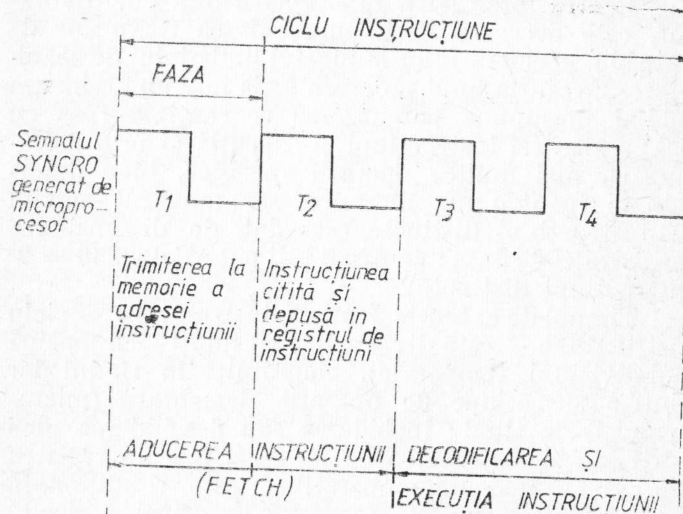
Dar nici limbajele de asamblare nu sînt foarte ușor de folosit atunci cînd problema de rezolvat depășește un grad de dificultate mediu. De aceea au fost dezvoltate pe un al doilea nivel, *limbajele de nivel înalt*

(FORTRAN, PASCAL, COBOL, ADA etc.), care oferă facilități sporite de utilizare în sensul exprimării algoritmice, structurate, a problemelor de rezolvat. Un alt avantaj al acestor limbaje față de cele de asamblare este independența (relativă) față de tipul calculatorului pe care se face rularea. Conversia unui program scris în limbaj de nivel înalt, în limbaj cod calculator se realizează folosind un program specializat, numit compilator. În acest caz, conversia nu se mai face unu la unu, ci fiecărei instrucțiuni din limbajul de nivel înalt îi corespunde un set de instrucțiuni în cod calculator.

Pentru înțelegerea funcționării unui microprocesor, este necesară însă, surprinderea fluxurilor de date și a prelucrării lor la nivelul limbajului de asamblare. Execuția unui program scris într-un asemenea limbaj presupune parcurgerea secvențială (pas cu pas) a fiecărei instrucțiuni și execuția ei prin desfășurarea mai multor operații specifice, bine determinate (pentru un microprocesor numărul maxim de instrucțiuni distincte este dat de dimensiunea magistralei de date : pentru 8 biți pot exista $256 = 2^8$ instrucțiuni distincte).

Timpul de execuție pentru o instrucțiune — ciclu instrucțiune — este divizat în mai mulți cicli mașină (subdiviziuni temporale), constituiți la rîndul lor dintr-o succesiune de operații elementare (microoperații) de tipul : închiderea sau deschiderea unei porți logice, deplasarea cu un rang într-un registru etc. Realizarea microoperațiilor este condiționată de existența tactului elementar (a cărui perioadă este timpul elementar în microprocesor) generat independent de circuitul de ceas (un circuit oscilant), cel care „bate măsura", ordonînd în timp desfășurarea tuturor operațiilor. Frecvența semnalelor de tact (tactul elementar — T_{Φ}) este de ordinul MHz.

Fiecare ciclu instrucţiune este compus din mai mulţi ciclii maşină (maximum 5). Primul dintre aceştia este ciclul de aducere a instrucţiunii din memorie (fetch). De la adresa de memorie păstrată în registrul PC — numărătorul de adrese — se citeşte codul instrucţiunii (OPCODE). Acest ciclu este identic pentru orice instrucţiune (pentru a executa o instrucţiune, microprocesorul trebuie să cunoască codul numeric al acesteia). Cea de-a doua etapă, materializată prin mai mulţi cicli maşină, în funcţie de complexitatea instrucţiunii, presupune execuţia efectivă a acesteia (fig. 4).



4. Delimitarea fazelor de FETCH şi de execuţie pentru un ciclu de instrucţiuni fix.

Cele două etape în desfăşurarea unei instrucţiuni (aducerea din memorie şi execuţie) sînt delimitate

(marcate) în timp de un semnal generat de microprocesor, semnalul de sincronizare (SYNCRO). Se realizează astfel sincronizarea evenimentelor desfăşurate în afara microprocesorului (la nivelul memoriei sau al perifericelor) cu cele din interiorul lui (desfăşurarea în etape a instrucţiunilor). Perioada semnalului SYNCRO este cunoscută ca fază sau stare (în funcţie de tipul microprocesorului ea este un multiplu al semnalului de tact). Fiecare ciclu maşină are între trei şi cinci stări în funcţie de instrucţiune. De asemenea fiecare ciclu maşină poate avea un număr fix sau variabil de faze (stări), în acest ultim caz — pentru instrucţiunile mai complexe — se trece la execuţia instrucţiunii în ciclul următor, determinînd „încetinirea" desfăşurării programului. Soluţiile mai noi, pentru a compensa acest neajuns au introdus prelucrarea datelor tip conductă (pipe-line), cea ce presupune extinderea prelucrării simultane a instrucţiunilor. Are loc o suprapunere între execuţia ultimului ciclu maşină al instrucţiunii curente şi primul ciclu —fetch — al următoarei instrucţiuni.

Dar să particularizăm. Prezentarea unui program simplu (mărirea valorii unui număr — incrementarea lui — cu o unitate) poate fi un exemplu concludent. Se consideră că programul — codurile numerice ale instrucţiunilor — este depus în locaţii de memorie începînd de la adresa 100. Numărul a cărui valoare o incrementăm — de exemplu 5 — se află la adresa 1, iar rezultatul operaţiei valoarea 6 — se va depune la adresa 2 (alegerea locaţiilor de memorie este arbitrară).

Secvenţa de program scrisă în limbaj de asamblare, folosind mnemonicele microprocesorului Intel 8080 este următoarea:

LDA 1; se încarcă acumulatorul cu conţinutul locaţiei de memorie 1.

INR A ; se incrementează valoarea din acumulator cu o unitate.

STA 2 ; conținutul acumulatorului (rezultatul incrementării) se stochează la adresa 2.

END.

Exemplificăm funcționarea microprocesorului prin prezentarea etapelor în care se execută prima instrucțiune a programului (LDA 1). Se consideră că fiecare ciclu instrucțiune are un număr fix de cicli mașină (din considerente metodologice se presupun numai 2 cicli), iar fiecare ciclu mașină un număr fix de faze.

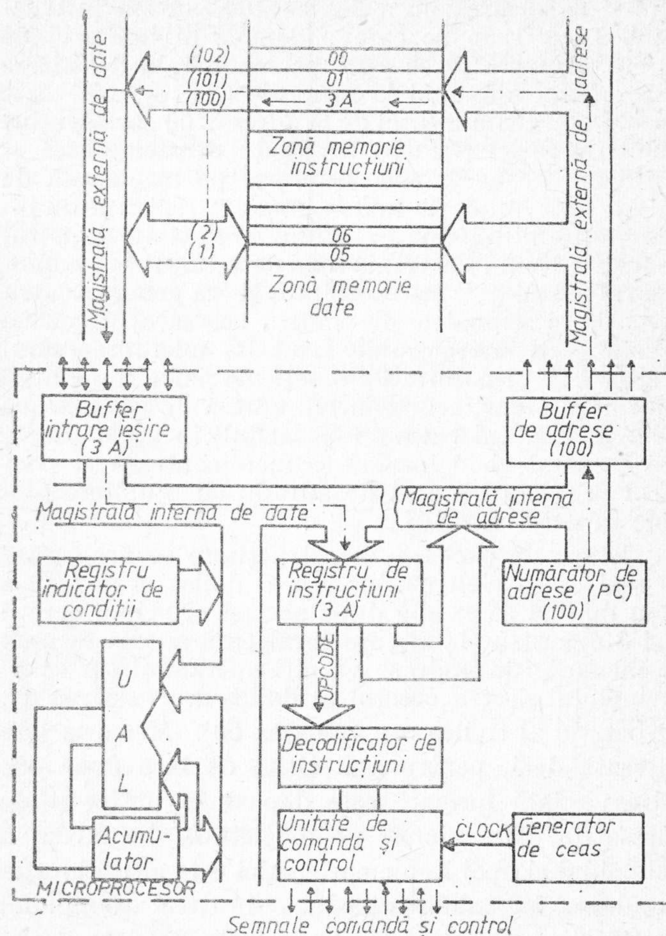
Instrucțiunea LDA 1 conține trei octeți. Primul specifică codul operației (OPCODE) iar următorii doi, adresa de memorie de unde se va citi numărul (operandul) pentru a fi încărcat în acumulator (fig. 5).

B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
0	0	1	1	1	0	1	0	CODUL OPERAȚIEI (OPCODE 3AH)
0	0	0	0	0	0	0	1	BIȚII CEI MAI PUȚIN SEMNIFICATIVI
0	0	0	0	0	0	0	0	BIȚII CEI MAI SEMNIFICATIVI

5. Structura instrucțiunii LDA 1.

Ciclu mașină 1 (fetch). Este ciclul de extragere din memorie a codului operației. La lansarea programului în execuție, contorul PC (numărătorul de adrese) se încarcă cu valoarea 100, adresa instrucțiunii LDA 1, și pe care o depune în buffer-ul de adrese. Aceasta trece apoi pe magistrala de adrese a sistemului ajungînd la memorie (fig. 6). Aici este selectată și citită locația de la adresa 100 care conține codul operației (OPCODE). Codul acesteia (3AH — codificare hexazecimală) este pus pe magistrala de date a sistemului, de unde ajunge în registrul de intrare/ieșire al microprocesorului și apoi în registrul de instrucțiuni al acestuia fiind decodificat (microprocesorul „înțelege" instrucțiunea și va genera pentru execuția ei semnalele de control necesare). În urma decodificării instrucțiunii LDA 1, microprocesorul „reține" că următorii doi octeți fac parte integrantă din instrucțiune, reprezentînd adresa de unde se va încărca numărul căutat (operandul), în acest caz 5. Tot în acest ciclu mașină se incrementează și contorul PC (numărătorul de adrese) cu o unitate (devine în acest caz 101).

Etapa de execuție a instrucțiunii se desfășoară pe mai mulți cicli mașină. În al doilea și al treilea ciclu mașină se extrag după același principiu octeții 2 și 3 ai instrucțiunii care furnizează adresa locației de memorie de unde se va citi operandul (în cazul exemplului nostru octetul al doilea are valoarea 01, iar octetul al treilea are valoarea 00). Memoria este adresată deci, pentru a fi citită de încă două ori. Adresa odată formată este depusă în buffer-ul de adrese de unde ajunge pe magistrala de adrese a sistemului și apoi la memorie. Aici este citită locația cu adresa, iar valoarea găsită — în cazul exemplului nostru 5 — este pusă pe magistrala de date a sistemului, de unde ajunge în registrul intrare/ieșire al microprocesorului și apoi în acumulator. Aceste



6. Fluxul de informaţii pentru ciclul maşină 1 al instrucţiunii LDA 1.

prelucrări aparţin celui de al patrulea ciclu maşină, tot de adresare a memoriei. În cazul acestei instrucţiuni memoria a fost adresată în total de 4 ori, corespunzător a 4 ciclii maşină distincţi. Contorul PC (numărătorul de adrese) a fost incrementat succesiv poziţionîndu-se pe adresa următoarei instrucţiuni (în cazul exemplului nostru 103). În acest moment instrucţiunea a fost complect executată şi se poate trece la următoarea — INR A (incrementarea acumulatorului cu o unitate). Desfăşurarea execuţiei cu observaţia că etapa execuţiei instrucţiunii (după ciclul fetch) nu mai presupune nici o citire din memorie ca în exemplul precedent, ci un singur ciclu maşină, al doilea, pentru execuţie efectivă.

Execuţia instrucţiunii de stocare STA 2, este similară cu cea de încărcare a acumulatorului (LDA 1), cu deosebirea că sensul datelor pe magistrala de date este în acest caz de la microprocesor spre memorie.

Funcţionarea unui microprocesor poate fi ma corect înţeleasă dacă se reţine următoarea observaţie. Structural, microprocesorul are doi vectori principali în vehicularea informaţiei; magistrala de adrese şi cea de date care asigură UAL, datele necesare prelucrării. Nici o operaţie nu se poate desfăşura fără adresarea cel puţin odată, pentru fiecare instrucţiune — cu ocazia ciclului fetch — a memoriei. Memoria mai poate fi citită de cîteva ori, dacă în urma decodificării instrucţiunii rezultă acest lucru. Referirea la memorie este absolut necesară, pentru că funcţionarea unui microprocesor este conceptual determinată de acest mecanism şi nu poate fi înţeleasă în afara lui. Un microprocesor „nu ştie" şi „nu face" decît ceea ce i se comunică conform secvenţei de program în desfăşurare, pe care „o cunoaşte" citind (adresînd) permanent memoria sistemului.

2.5. Calculatorul personal — un dar al microprocesorului

Aceasta părea să fie una din realitățile lumii calculatoarelor — poate cea mai relevantă — la mijlocul anilor'70. Să ne reamintim : în 1971 apărea primul microprocesor, trei ani mai tîrziu se impunea pe piață primul standard în domeniu Intel 8080 ; în acel moment, existau realizate capsulele de memorie de 4 K biți și 10 K biți. Prin urmare toate condițiile tehnologice erau create. S-a impus o idee mare : realizarea unui calculator utilizabil în exclusivitate de o singură persoană, performant, ușor de folosit și la un preț accesibil ; ideea este susținută cu multă pasiune, perseverență, spirit întreprinzător și mult așteptatul calculator la îndemîna oricui, calculatorul personal, apare în 1975.

Povestea celor doi constructori amatori de calculatoare — Steven Jobs și Stephan Wosniak și a garajului lor din Silicon Valley a devenit legendară. Dincolo de aureola firească oricărui început, apariția primelor calculatoare personale a reprezentat sincopa necesară unei puternice restructurări în domeniu. Un spațiu larg în ceea ce privește utilizarea calculatoarelor fusese pînă atunci neacoperit. Calculatoarele existente, în multe cazuri supradimensionate nevoilor curente, erau mai greu accesibile atît din punct de vedere funcțional (un asemenea calculator deservea un număr mare de utilizatori) cît și financiar. De aceea, calculatorul personal a polarizat interesul unui număr mare de producători. Sensului oferit de vechea opțiune : creșterea performanțelor calculatoarelor : viteză de prelucrare, capacitate de memorie, echipamente periferice evoluate i-a fost opus sensul dezvoltării facilităților pentru informaticianul

nespecialist : versatilitate, simplitate, portabilitate, gabarit și nu în ultimul rînd preț redus. A apărut astfel instrumentul care putea prelua o parte din munca de rutină specifică oricărei profesiuni sau îndeletniciri. Dezvoltarea tehnologică ca și în cazul radioului, al telefonului sau televiziunii a transferat maselor largi de oameni noile cuceriri. Productivitatea socială a muncii individuale a înregistrat salturi spectaculoase.

Calculatorul personal a fost acea realizare tehnică și succesul comercial de mari proporții care a consacrat definitiv microprocesorul, care a validat noile structuri de prelucrarea datelor. Simplu, eficient, ieftin : o triadă pe înțelesul tuturor. Din acest moment, informatica penetrează în orice sferă a activității umane de la înălțimea ultimului sosit : calculatorul personal. De acum înainte evoluția microprocesoarelor se identifică în multe privințe cu calculatoarele personale ; dezvoltarea în tandem prin determinare reciprocă devine o necesitate.

Dar să revenim ; primul produs, ALTAIR 8000 (realizat cu microprocesorul Intel 8080) a incitat și prin forma de trusă în care era destinat să ajungă la beneficiar; să cumperi, să construiești și să utilizezi propriul calculator, iată ipostaza cu totul neobișnuită în care era pus orice temerar informatician. Ideea place. Vînzările cresc. Apare firma „Apple" (în 1977, cei doi întreprinzători pun bazele viitorul concern al calculatoarelor personale). Miracolul lumii informatice la sfîrșitul deceniului 7 se numea Apple. Anul 1980 marchează intrarea în competiție a firmei „IBM" („Big blue") alături de peste încă o sută de producători ai noilor tipuri de calculatoare. Dezvoltarea explozivă a domeniului cunoaște convulsiile inerente oricărui început. Încă din primii ani, s-au

conturat totuşi, două direcţii principale de dezvoltare, cea a calculatoarelor personale familiale — destinate cu precădere aplicaţiilor modeste, mai ales de divertisment, jocurilor pe calculator, impactul educaţional, de iniţiere, fiind cel mai puternic dar şi cel mai valoros din punct de vedere social — şi cea a calculatoarelor personale profesionale. Destinate profesioniştilor, acestea au metamorfozat complet peisajul informatic contemporan substituindu-se „vechilor practici" de folosire a calculatoarelor în partiţii şi oferind utilizatorului acel echipament la care are acces şi control direct şi complet în orice moment : introducere de date sau dezvoltare de programe în toate etapele (introducere, depanare, rulare). Prin performanţe, datorită importanţei lor, a interesului constant acordat, domeniul calculatoarelor personale profesionale pare să fie cel mai dinamic, un adevărat „port drapel" al progresului tehnologic în ramură.

Folosind microprocesoarele 8 086, 8 088, pe 16 biţi, produse de firma „Intel" în vara anului 1981, „IMB" lansează modelul IBM PC (Personal computer) devenit un standard internaţional pentru calculatoarele personale. Trecînd la noul disc în tehnologie Winchister acest model cu variantele IBM PCXT (eXTended, apărut în martie 1983) şi IBM PCAT (Advance Technology, lansată în august 1984) se va impune definitiv ca lider în domeniu. Firma „Apple", după comercializarea cu succes a variantelor Apple II, lansează modele LISA I şi II (calculatoare personale realizate cu microprocesoare Motorola pe 16 biţi) care aduc un suflu nou pe piaţă, invadată şi de produsele altor firme devenite foarte competitive : „Tandy", „Osborne", „Compaq", „Fujitsu", „Hitachi", „Texas", „Instruments Hewelett Packard" etc.

Odată cu apariţia microprocesoarelor pe 32 biţi concurenţa devine dramatică. Se constată în primul rînd o maturizare a domeniului, mulţi producători dispar, performanţele cresc spectaculos în timp ce preţurile devin din ce în ce mai accesibile. Polarizarea interesului între diverşii producători este înlocuit de strategii clare de cercetare — dezvoltare şi marketing. Firma„Apple"lansează modelul MacIntosch II (realizat cu microprocesori Motorola 68 020), iar la începutul anului 1987, „IBM" prezintă o nouă serie, IBM PS/2 (Personal System/2), realizată cu microprocesoare Intel 80 286 şi 80 386 pentru a aminti doar de principalii doi competitori.

În paralel cu această puternică explozie a microcalculatoarelor profesionale, asistăm, cum era şi firesc, la o dezvoltare cel puţin comparabilă în amploare a calculatoarelor de tipul home computers (familiale) reprezentate de nume deja cunoscute tuturor : „Sinclair" (cu toate variantele), „Commodore", „Atari" şi multe altele.

Adevărata dimensiune a succesului calculatoarelor personale — indiferent de tipul acestora a fost însă prin software. Pentru a pune în valoare hardware-ul existent era nevoie de un software pe măsură. Ofertanţii de programe au preluat încet controlul asupra pieţii calculatoarelor personale, în domeniul software, exercitarea unui control fiind mult mai dificil de realizat. Fenomenul urmăreşte aceleaşi caracteristici (unele amplificate datorită facilităţilor de difuzare) ca şi în cazul calculatoarelor mari; preţurile pentru achiziţionarea unor noi apilicaţii software cresc substanţial în detrimentul echipamentelor hardware. Apar firme specializate : „Microsoft" elaborează sistemul de operare MS—DOS-ul pentru totată familia de microcalculatoare rea-

lizată de „JBM”, „Microprog” realizează celebrul editor de texte Wordstar, „Lotus” lansează produsele program 1—2—3 şi Symphonyului, apar variante pentru dBASE etc.

Un alt aspect este reprezentat de atenţia specială acordată de firme consacrate pasionaţilor, hobiştilor, cei care creînd independent, pot deveni producători de fapt ai noilor produse program. Stimulaţi, aceştia au servit, au reprezentat foarte bine interesele marilor firme. Practica a dat rezultate, iar numărul aplicaţiilor a crescut spectaculos oferind publicului larg acele produse sau jocuri care au transformat în cele din urmă calculatorul personal într-o omniprezenţă cotidiană.

Succesul calculatoarelor personale, intuit, aşteptat şi ulterior consemnat, are cauze multiple de ordin tehnic, social, cultural. Sintetic el poate fi explicat pe de o parte prin *accesibilitate* la un echipament de calcul — devenit în ultimul timp foarte puternic în condiţii avantajoase atît din punct de vedere tehnic (prin facilităţile de utilizare), dar mai ales financiare, iar pe de altă parte prin *autonomia* pe care utilizatorul o capătă amplificîndu-şi considerabil abilităţile intelectuale.

CAPITOLUL 3

„REMEMBER” SAU A MEMORA ÎN COD-MAŞINĂ

„Remember” este — după cum se ştie — titlul unei cunoscute poezii a marelui nostru poet Mihai Eminescu; de ce — o să vă întrebaţi — tocmai „Remember” prefaţează într-un fel o prezentare a memoriilor calculatoarelor? Cuvîntul memorie are nenumărate înţelesuri în funcţie de domeniul de referinţă şi chiar de epoca respectivă; bunăoară citim cu plăcere „memoriile” oamenilor celebri; multe dintre gîndurile, rostite sau nu, încep cu „îmi amintesc . . .”. Ei bine, în „era informaticii” acest cuvînt a căpătat o semnificaţie nouă şi distinctă faţă de noţiunile anterioare. Cînd ne întrebăm: „Ce memorie are minicalculatorul X?”, deja ne referim la o caracteristică esenţială a echipamentului respectiv care ne poate furniza o primă informaţie despre „puterea” lui. În memorie, calculatorul stochează fie instrucţiuni pe care, executîndu-le „ştie” ce are de făcut în pasul următor, fie date (cum este, de cele mai multe ori, cazul memoriei externe, auxiliare) pe care le prelucrează, interpretează etc.; nu este de loc exagerată afirmaţia că o bună parte din inteligenţa acestui „copil teribil” al secolului XX — calculatorul — stă în capacitatea de memorie şi în rapiditatea de acces la date.

O dată cu evoluția tehnologiilor de fabricație a componentelor și cu descoperirea unor noi suporturi de stocare a informației, criteriile de clasificare a memoriilor au devenit din ce în ce mai numeroase. Performanțele memoriilor și costul acestora sînt în egală măsură cheia tehnologiei calculatoarelor. Este foarte corectă afirmația că fără memoriile rapide și ieftine care s-au dezvoltat în ultimii ani, inovațiile în domeniul tehnologiilor de componente, al arhitecturilor de procesoare și al sistemelor software nu ar fi avut un impact atît de categoric în tehnica de calcul.

Aplicații specifice cer componente electronice specifice, astăzi nemaiexistînd practic un domeniu în care calculatorul să nu aibă un cuvînt de spus, să nu fie implicat direct sau indirect. Așadar, să pătrundem puțin în interiorul unui calculator, încercînd să facem o sumară incursiune în lumea din ce în ce mai populată a memoriilor.

3.1. Memoria principală

Este momentul să facem o clasificare a memoriilor, după criteriul dialogului cu unitatea aritmetică și logică (ALU), în două grupe mari : *memoria principală* (Main Memory — MM) și *memoria auxiliară sau externă* (Auxiliary Memory —AM), al căror rol în cadrul unui calculator este foarte bine definit, așa după cum vom vedea.

Din punct de vedere al hard-ului, memoria principală este formată dintr-un număr mare de unități de bază, pe care le vom numi celule de memorie ; fiecare dintre acestea reprezintă un dispozitiv sau un circuit electronic care are două sau mai multe stări stabile. În practica curentă sînt folosite celule

cu două stări stabile capabile să funcționeze în logica binară și să stocheze deci biți. Trebuie spus că biții, grupați de obicei în bytes sau în cuvinte (words), sînt simultan adresați prin instrucțiunile READ (citește) și WRITE (scrie).

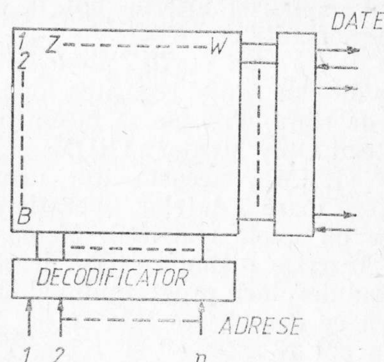
În cadrul memoriei interne pot fi departajate două clase importante :

Memoria de tip read / write (citește/scrie), permițînd stocarea datelor sau/și regăsirea lor în intervale comparabile de timp. Trebuie să facem o distincție clară între Read Only Memory (ROM) și Read Mostly Memory (RMM) ; aceasta din urmă permite citirea cu viteză mare a datelor, operația de înscriere executîndu-se cu unele restricții. Memoriile de tip ROM pot fi înscrise o singură dată de către producător, în cursul derulării programului ele fiind numai „citite''. Ceea ce deosebește RMMs de ROMs este faptul că ele pot fi „șterse'' și reînscrise de către utilizator pentru o aplicație specifică, numindu-se fie PROM (Programmable ROM), fie EPROM (Erasable PROM), care se poate șterge și reînscrie etc.

Memoria de acces aleator sau RAM (Random Acces Memory) se caracterizează în principal prin faptul că datele sînt accesibile numai în aceeași secvență, în care au fost înscrise ; RAM intră în categoria memoriilor de „lucru'' în care se poate scrie și citi o informație cu un timp de acces constant, independent de natura secvenței în care informația a fost stocată. În figura 7 este reprezentată o memorie constînd dintr-un număr W de cuvinte de cîte B biți fiecare, biții unui cuvînt fiind adresați *în paralel* pentru operațiile de scriere sau citire.

Unul dintre parametrii importanți ai unei memorii este *timpul de acces*, acesta reprezentînd intervalul minim de timp între inițializarea a două operații succesive și independente în memorie. Așa după cum

vom vedea, pentru tehnologia memoriilor bipolare ciclurile de citire și scriere sînt de cele mai multe ori egale, în timp ce în cazul memoriilor bazate pe ferite citirea informației este o operație distructivă, fiind întotdeauna necesară o reînscriere a ei. Din



7. Memorie constînd dintr-un număr W de cuvinte, de cîte 8 biți fiecare, solicitînd o adresă de cîte n biți ($n = \log_2 W$, unde W este întotdeauna o putere a lui 2).

această observație — referitoare la citirea distructivă sau nu — rezultă încă un criteriu de clasificare a memoriilor, cu citire distructivă (Destructive Read Out-DRO) și nedistructivă (NDRO).

Dezvoltarea rapidă a tehnologiilor pe bază de semiconductoare a introdus termenii de memorie statică (celulele ei își păstrează starea atît timp cît sînt sub tensiune) și dinamică (care necesită o reîmprospătare periodică a sarcinii electrice, deci a informației conținute). Mai trebuie de asemenea făcută deosebirea între memoriile volatile și nevolatile, primele reprezentînd categoria celor care-și pierd informația la decuplarea tensiunii de alimentare, în contrast cu cele nevolatile, care și-o păstrează.

3.2. Cîte performanțe atîtea tehnologii

Cea mai veche — și încă utilizată — memorie este aceea bazată pe ferite. Argumentul principal al menținerii ei în epoca performanțelor de netăgăduit ale materialelor semiconductoare este nonvolatilitatea ei, cu toate că anul 1981 a marcat apariția primelor memorii bazate pe semiconductoare care au această calitate ! Memoriile cu ferită prezintă o viteză acceptabilă de lucru, un cost rezonabil de producție, iar tehnologia de fabricație este stabilă și bine pusă la punct. Ele prezintă și importante dezavantaje : curenți mari de scriere și semnale relativ slabe obținute la citire, amîndouă operațiile implicînd circuite electronice sofisticate. Paradoxul intervine în faptul că prețul unor astfel de circuite aferente este mai mare decît sistemul însuși, de unde rezultă o concluzie foarte simplă : memoriile cu ferită sînt rentabile numai pentru capacități mari. Pe linia memoriilor magnetice s-au realizat recent performanțe notabile prin introducerea în ultima decadă a memoriilor cu bule magnetice care utilizează în principiu o depunere fină, peliculară de materiale magnetice cristaline ; avantajul major este că realizează un timp scăzut de acces (între discuri și RAM), fără a fi volatile. Bula magnetică își găsește o aplicație importantă în terminalele de mare viteză pentru care nonvolatilitatea informației stocate este o cerință esențială.

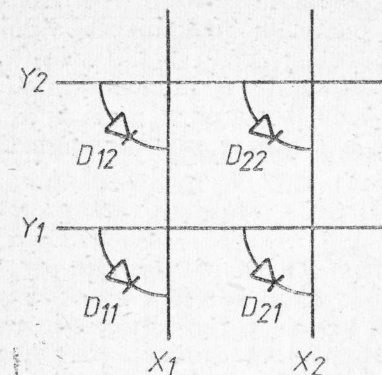
Totuși, în ultimii zece ani, memoriile semiconductoare au dominat piața și continuă să fie în actualitate. Ele pot fi bipolare — care utilizează,

circuite integrate LSI și VLSI cu tranzistoare bipolare — și MOS, dacă se bazează pe tranzistoare cu efect de cîmp (Metal Oxide Semiconductor).

3.3. Jocul numerelor

Chiar și memoriile reduse cer un număr mare de celule binare pentru stocarea datelor. De exemplu, o memorie de 4 096 cuvinte a cîte 16 biți fiecare — utilizată astăzi pentru configurația sumară de minicalculator — conține 2^{16} (= 65 536) elemente de memorie. Și pentru o aplicație modestă problema tehnologică a selectării biților specifici unei anumite adrese este destul de dificilă. Rezolvarea ei avantajoasă a constat în conceptul de acces multidimensional, așa încît, pentru fiecare cuvînt selectat din exemplul de mai sus, sînt accesați simultan 2^4 (16) biți. Dacă fiecare celulă tipică de memorie conținînd un bit de informație se consideră a fi punctul de intersecție într-o matrice 2D (bidimensională), XxY, atunci numărul de puncte selectate este XY. Este clar că pentru o memorie de 2^N celule, $XY = 2^N$. Odată ce am identificat 2^N noduri de matrice este necesară implementarea unor mecanisme de selectare a acestor noduri. Practic, este necesar un element neliniar cu un prag de funcționare. Un astfel de exemplu se poate vedea în figura 8, în care curentul trece prin dioda D_{11} numai dacă tensiune V_{y1} în Y_1 este pozitivă și dacă tensiunea V_{x1} în X_1 este negativă. Dioda este deci elementul de stocare pentru 1 bit de informație, iar o matrice de diode se constituie într-un dispozitiv read-only, care își găsește în prezent o largă aplicație în sistemele de calcul. Se poate spune că dioda îndeplinește în acest caz funcția logică ȘI :

dacă atît X_1 cît și Y_1 sînt simultan energizate, curentul trece prin D_{11}, selectînd astfel celula C_{11}. Logic vorbind, $C_{11} = X_1Y_1$; fiecare cantitate selectată



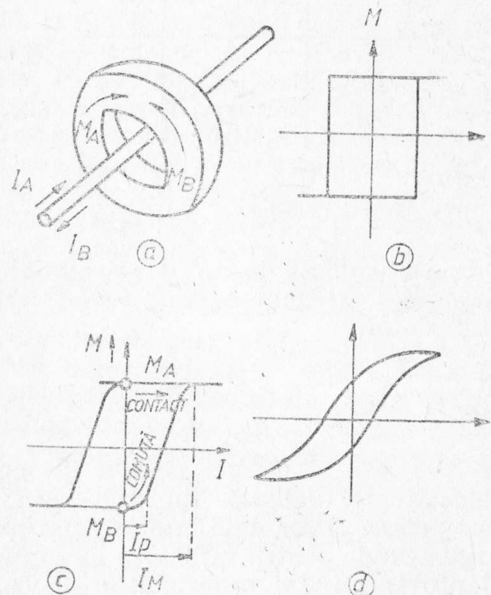
8. Matricea selecției diodelor.

presupune o coincidență de tip ȘI, selecția bidimensională impunînd existența a două variabile, iar cea 3D a trei variabile.

3.4. Memorii cu ferite

Ideea de a utiliza feritele pe post de memorii, pentru calculatoare, datează din anul 1950, an în care au fost pentru prima dată implementate într-un sistem. Argumentele pentru utilizarea lor erau următoarele și proveneau din proprietățile de bază ale unei bucle de magnetizare : memoria sau *remanența* care să permită stocarea informației ; pragul sau *neliniaritatea* facilitînd selecția celulei respective. În figura 9 se poate observa un tor (ferită) prin al cărui centru trece un fir conductor de electricitate,

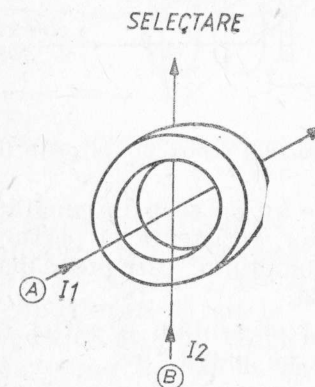
cele două elemente constituind „celula" de bază a memoriei. Aceste celule sînt de obicei foarte mici, de ordinul 10^{-3} inch (1 inch = 0,0254 m), ele fiind caracterizate de raportul între diametrul exterior și cel interior, care poate lua următoarele valori : 80/50 ; 50/30 ; 30/18 ; 18/12; 12/7 ; 7/4. Datorită miniaturizării, feritele devin din ce în ce mai mici, aplicațiile actuale cerînd soluții complexe, cum ar fi, de exemplu, aceea de a străbate miezul magnetic cu mai



$$I_P = I_{PRG} > \frac{I_M}{2}$$

9. Memoria de ferită : a) torul magnetic ; b) bucla ideală, perfectă ; c) bucla reală pentru un miez bun ;d) remanența.

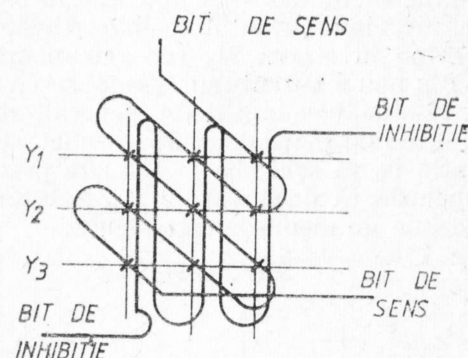
multe fire, așa cum vom vedea. Bobina ideală din figura 9a are o relație ideală între curentul I care străbate conductorul și magnetizația internă (9 b) ; în realitate, lucrurile nu stau chiar așa ; presupunînd că ferita este inițial în starea M_B(9 c și 9 d), aplicarea curentului I_A *comută* starea feritei în cadranul al IV-lea, în care I_A este mai mare decît I_{prag}. Dacă I_A este suficient de mare ($> I_M$), miezul comută în întregime, iar cînd curentul se inversează, magnetizația revine în starea M_A (de remanență). Prin aplicarea din nou a curentului I_A se observă că magnetizația rămîne constantă ; în general, dacă curentul I_B este mai mare decît I_M, atunci starea de magnetizație se va schimba la M_B. Din practică s-a impus concluzia că dacă $I_{prag} > I_M$ selectarea unei anumite celule de memorie este sigură.



10. Selecția de prag.

Să considerăm miezul magnetic din figura 10 traversat de două fire și admitem că cei doi curenți iau numai valorile 0 sau $\pm I_M/2$. Dacă numai $I_1 = I_M/2$, nu se va înregistra nici un efect ; situația

este aceeaşi şi pentru cazul lui I_2. Dar dacă simultan $I_1 = I_2 = I_M/2$, pragul este atins şi ferita comută din starea ei; pentru a-i inversa starea, va fi necesar să i se aplice $I_1 = I_2 = -I_M/2$ sau un curent $-I_M$ pentru o memorie cu un singur fir. Memoriile cu ferită se pot organiza în diferite moduri (unele chiar foarte complexe pe structuri tridimensionale pe mai



11. Structură pentru 3D cu patru fire.

multe fire), care au ca scop îmbunătăţirea calităţii memorării datelor, rezistenţa la perturbaţii externe şi reducerea „zgomotului" care poate denatura uneori informaţia utilă.

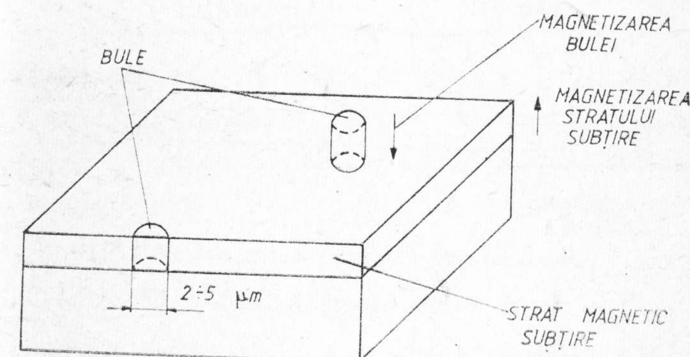
În figura 11 prezentăm o astfel de organizare tridimensională pe patru fire.

3.5. Memoria cu bulă magnetică (MBM)

Primele memorii de acest fel au fost comercializate în anul 1977 de către firma „Texas Instru-

ments", avînd forma unui paralelipiped cu dimensiunile 2,5×2,75 × 1 cm cu o capacitate de 92 Kb. În anul 1979 şi firma „Intel" a comercializat prima MBM de 1 Mb (fig. 12).

Înainte de explicarea a ceea ce este o bulă magnetică, trebuie să spunem că i se rezervă un viitor interesant (în momentul în care costul de producţie

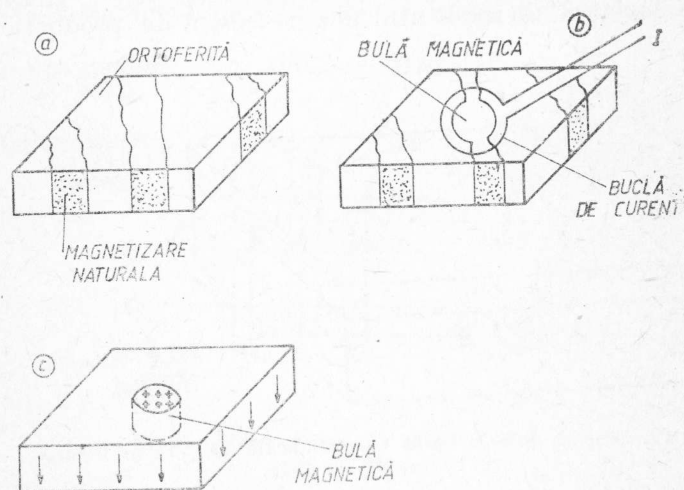


12. Schema primei MBM comercializată de „Texas Instrument", în 1977.

va fi mai ... atractiv!), deoarece ea prezintă numeroase avantaje: este nonvolatilă, nu conţine subansambluri în mişcare, prezintă o deosebită siguranţă în funcţionare şi altele.

Bula magnetică este un cilindru cu dimensiuni de ordinul micronilor format în anumite materiale cu proprietăţi magnetice, de exemplu, ortoferitele. Concret ea se formează prin aplicarea unui cîmp magnetic exterior, unei pelicule foarte subţiri din acest material; rezultatul este schimbarea formei domeniilor magnetice în stratul subţire, într-una cilindrică (fig. 13). Este foarte important să spunem

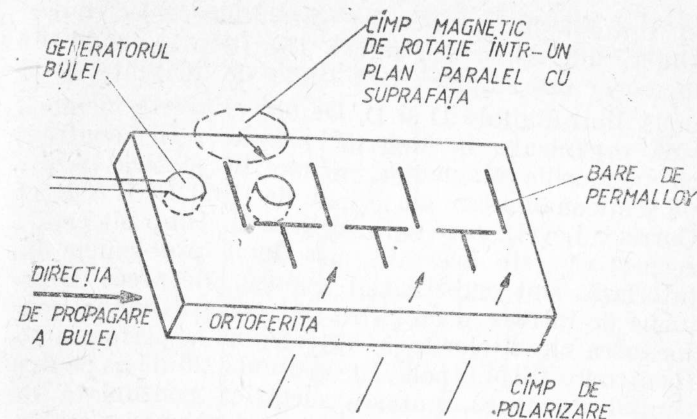
că bulele, odată formate, pot fi foarte ușor deplasate într-o direcție laterală prin intermediul interacțiunii dintre cîmpul magnetic propriu și unul extern (rezultat de exemplu, de la un conductor străbătut de curent electric).



13. Formarea unei bule magnetice ; deplasarea acesteia se poate face în orice direcție perpendiculară pe direcția de magnetizare.

Bula magnetică este în prezent o mare promisiune tehnologică ce va rezolva, se pare, problemele acute legate de timpii de acces, de volatilitate, de propagarea informației, fără a fi nevoie de prea multe circuite auxiliare pentru fiecare locație.

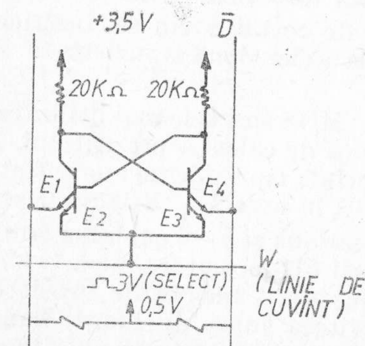
Există deja și realizări notabile : registre experimentale cu densități de stocare de ordinul a 2,5 milioane biți/inch² și cu o viteză de transfer de ordinul nui milion de biți/secundă !



14. Structura unui registru cu bulă magnetică.

3.6. Memorii semiconductoare

După cum am mai spus ele se împart în două categorii distincte : bipolare și MOS, clasificare ce are în vedere cele două tehnologii de bază existente

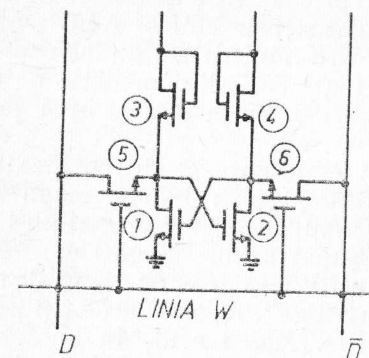


15. O celulă de bază pentru o memorie bipolară.

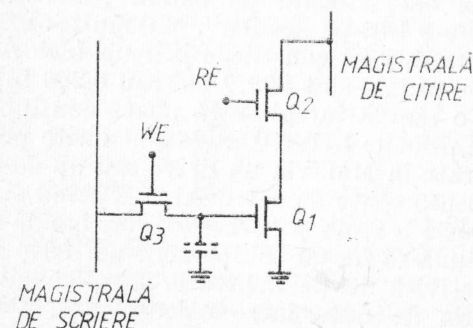
în prezent în producerea circuitelor electronice. După cum reiese din figura 15, fiecare celulă de memorie este cuplată la o linie de „cuvînt" și la două linii digitale D și $\overline{D}$. De obicei aceste memorii sînt organizate în matrici pătrate. În contrast cu memoriile magnetice, memoriile statice bazate pe semiconductoare au ieșirile de tipul DCL (Direct Current Level), care se mențin atît timp cît celula respectivă este accesată, așa încît problemele de interfață sînt substanțial reduse, deoarece nivelurile de intrare și de ieșire sînt compatibile cu majoritatea circuitelor logice. S-a ajuns la performanța (pentru un RAM bipolar) de ordinul a 20 de ns pentru timpul de acces, puterea electrică consumată de fiecare celulă scăzînd odată cu perfecționarea tehnologiilor pînă la zecimi și sutimi de miliwatt/celulă. În figura 15 se poate vedea funcționarea unei astfel de celule: cele două tranzistoare stochează bitul zero sau unu prin bascularea lor, formînd ceea ce se numește un circuit „flip-flop". A „scrie" într-o celulă înseamnă a ridica potențialul liniei W, aplicînd un curent slab, 0,25 mA, oricăreia dintre liniile D și $\overline{D}$ (funcție de ce bit vrem să înscriem 0 sau 1), forțînd bascula celor două tranzistoare să treacă în starea dorită.

Memoriile MOS sînt cele mai utilizate și populare tipuri în tehnica de calcul a prezentului. În figura 16 se observă o celulă tipică de memorie statică cu tranzistoare NMOS, în care 1—2 asigură bascularea, 3—4 rezistența de sarcină și 5—6 cuplarea la liniile D și $\overline{D}$. Aceste memorii disipă putere mică și sînt mult mai ușor de produs decît memoriile bipolare. Un dezavantaj este viteza mică de lucru, handicap ce se poate înlătura prin utilizarea memoriilor MOS dinamice. În acest caz, bitul este memorat ca sarcină

(fig. 17) a capacității dintre masă și poartă a tranzistorului Q_1, în timp ce Q_2 și Q_3 sînt folosite în comutare pentru scriere și citire.



16. Celulă tipică de memorie NMOS:
1—2 tranzistoare care basculează;
3—4 tranzistoare de sarcină rezistivă;
5—6 tranzistoare de cuplare.



17. O celulă MOS dinamică ; bitul este stocat ca sarcină a joncțiunii capacitive ; WE = Write Enable ; RE = Read.

3.7. Memorii auxiliare (AM)

Acestea se disting de memoria principală (MM) prin faptul că, într-un sistem instrucţiunile aferente lor sînt luate spre execuţie ultimele. În marea majoritate a calculatoarelor MM şi ALU sînt proiectate în pereche pentru a înlesni un dialog rapid şi în timp real. AM au toate celelalte memorii al căror conţinut trebuie întîi adus în MM şi apoi prelucrat de către ALU.

Cele mai cunoscute şi des utilizate tipuri de memorii auxiliare sînt: banda magnetică, caseta magnetică, tamburul magnetic (mai ales în etapa de pionierat a suporturilor magnetice), discurile cu capul de citire fix, discurile cu capul de citire mobil, discurile „cartridge", memoriile de tip „solid state", floppy discurile. Mai recent, în această categorie pot fi incluse şi discul optic numeric şi discul magneto-optic. De primul dispozitiv ne vom ocupa pe larg în cadrul acestei prezentări.

Banda magnetică este o panglică de plastic de lungime standardizată, acoperită cu un oxid de fier. Informaţia este stocată pe bandă transversal, de obicei 7 sau 9 biţi pe „cadru". Mai multe cadre înregistrate succesiv se constituie într-un bloc de date. Densităţile uzuale sînt 800, 1 600 sau 6 250 biţi/inch, aşa încît o bandă înregistrată poate conţine în jur de 40 de milioane bytes. Datele sînt citite pe bandă şi transferate în MM, via un drive sau un controller, fiind apoi procesate de către ALU. Dotînd sistemele din generaţia a treia şi succesorii lor, banda magnetică continuă să fie un echipament periferic de bază pentru activităţile de arhivare, birotică şi pentru schimburile de date între calculatoare. Pentru a micşora timpul de acces la date, mai recent au apărut unităţile de bandă magnetică cu transfer continuu de date (streaming), mult mai performante. Oricum, banda magnetică este unul dintre cele mai ieftine moduri de a stoca informaţia, fiind de departe mult mai competitivă decît banda de hîrtie sau cartelele perforate.

Tamburul magnetic, discurile, floppy discurile şi dispozitivele cuplate prin sarcină, intră în categoria dispozitivelor cu acces direct, deoarece pentru regăsirea unei informaţii nu mai este necesară o trecere secvenţială a unei porţiuni mari din conţinutul lor.

De vreo treizeci de ani, discul nu mai poate fi asociat exclusiv cu noţiunea de muzică şi audiţie de calitate. El a intrat în limbajul comun al utilizatorului de calculatoare ca un „periferic" important pentru orice tip de aplicaţie. Biografia discului magnetic se scrie în primul rînd în număr de biţi, iar începuturile i se pierd în „negura istoriei" calculatorului modern, adică în descendenţa directă din echipamentele cu tambur magnetic a căror dată de naştere este 1948!

Cîţi dintre utilizatorii de calculatoare personale nu au făcut de nenumărate ori gestul de a introduce acel plic de carton, conţinînd un disc mic, flexibil, în unitatea de disc a sistemului, spunîndu-şi: „acum va citi" sau „să încarce întîi pe disc şi apoi..." ... Deci, în general, o unitate de discuri are mai multe părţi componente şi anume: suportul, constituit dintr-unul sau mai multe discuri; ansamblul capetelor de citire/scriere; ansamblul de acţionare şi fixare a suportului; sistemul de poziţionare a capetelor (pentru capetele mobile); blocul logic de comandă şi interfeţele cu unitatea centrală. Elementul principal al suportului este un disc cu rol de substrat, acoperit cu un strat cu proprietăţi magnetice, care prezintă de fapt partea activă a echipamentului. Principiul înscrierii informaţiei se bazează pe magnetizarea diferită a elementelor constituente. Aşadar,

cunoscuta curbă de histerezis, în rol de codificator binar de date. Se știe că pe curba de histerezis apar două valori stabile ale inducției magnetice remanente : B și —B, trecerea dintr-o stare în alta făcîndu-se prin aplicarea unui cîmp magnetic de semn contrar. Ca atare, orice punct de pe suprafața suportului se poate găsi numai într-una din cele două stări cărora li se atribuie convențional valorile binare. Citirea se face pe același principiu, pornind de la faptul că trecerea dintr-o stare de magnetizare în cealaltă are drept consecință o variație a curentului electric. Orice înregistrare pe disc are o adresă care include fața, pista și sectorul. Este un disc performant? Dacă răspunsul este afirmativ, atunci datele trebuie înscrise la următoarele caracteristici : capacitatea unității (biți sau octeți) ; densitatea liniară (biți/inch-bpi sau biți/cm) ; densitatea radială (tracks/inch -tpi sau piste/inch, piste/cm) ; timpul de acces ; timpul de poziționare ; timpul de căutare pe pistă ; viteza de transfer (Megaocteți/secundă, Mb/secundă).

Și acum, să însoțim într-o călătorie imaginară un bit (alegeți : zero sau unu) în înscrierea sau citirea lui pe diverse tipuri de discuri. Printre primele apărute, pachetele de discuri amovibile, cu suportul format dintr-unul sau mai multe discuri asigurînd o capacitate mare de memorare, prezintă performanțe notabile : pot conține pînă la 11 discuri cu 19 fețe disponibile, cu o densitate de ordinul miilor de bpi și cu o capacitate de sute de Mo. Unitățile cu „storage module" îmbunătățesc capacitatea de stocare dublînd aproape densitatea. În limbajul uzual, folosim din ce în ce mai des discurile „cartridge" (cartridge = casetă, cartuș), adică acele unități încasetate, ușor de manipulat, caseta conținînd un singur disc. Poate avea o capacitate de pînă la 80 Mo (realizări

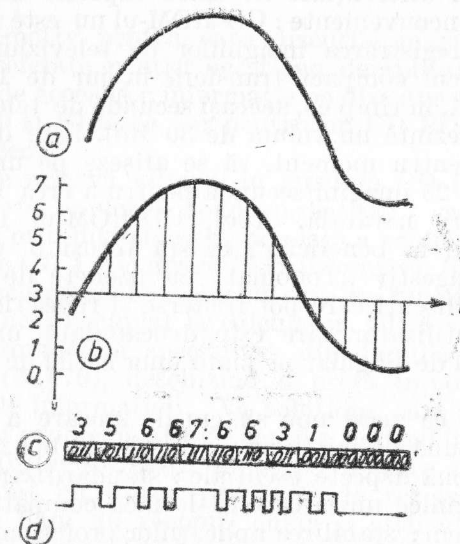
recente depășesc această cifră mărind-o cu un ordin de mărime), ceea ce îi conferă în prezent o mare popularitate. Pachetele de discuri Winchester dețin rolul de vedetă pentru orice echipament de calcul utilizat în cele mai diverse aplicații. De ce? Datorită faptului că au incorporate, pe lîngă discuri și capetele de citire/scriere. Avantajul major constă în reducerea erorilor provenite de alinierea capetelor, deci acces rapid și capacitate sporită. Astăzi, un pachet de discuri Winchester de 5 și 1/4 inch poate avea o capacitate de 372 Mb, un timp de acces de 22 msec și o medie a timpului de bună funcționare de 20 000 de ore. Densitate mare, timp de acces redus dar cost relativ ridicat. Pentru ca tehnica de calcul să pătrundă în toate domeniile, inclusiv în activitățile noasrtre cotidiene, trebuiau găsite soluții care să împace și octeții ... dar și costul! Acest lucru a fost posibil odată cu apariția unităților de disc flexibil—floppy discurile — cu următoarea carte de vizită : material-poliester(mylar) ; grosime 0,07 mm sau 0,003 inch liant și un plic de carton sau plastic în interiorul căruia discul se poate roti liber. Pentru unitățile floppy dublă față, dublă densitate, capacitatea poate ajunge pînă la ordinul Megaocteților în format 3,5 inch.

Care va fi viitorul memoriei pe disc magnetic? Optimiștii spun că miniaturizarea, creșterea capacității de memorare îi vor conferi un rol important în configurațiile viitoare de sisteme de calcul și orientarea spre tehnologiile magneto-optice. Dar pesimiștii? Ei bine, argumentul lor contra se bazează pe cercetări începute acum mai bine de zece ani, cu rezultate spectaculoase concretizate într-un nou echipament : discul compact (CD—ROM) care va deschide o nouă filă în istoria stocării informației.

3.8. CD-ROM, noul papirus

CD-ROM sau discul compact de tip *R*EAD *O*NLY *M*EMORY, provenit din aceeaşi familie ca şi audiodiscul cu citire laser, poate stoca pe cei 12 cm diametru, simultan, sute de cărţi, muzică, soft pentru diferite aplicaţii, grafice, fotografii etc., în total echivalentul a 300 000 de pagini de text, deci o enciclopedie întreagă pe un disc!

Există deci în prezent un nou mijloc de a păstra informaţia mult mai revoluţionar decît papirusul care, la vremea lui, a înlocuit lutul sau lemnul pe care popoarele vechi ne-au transmis cunoştinţele lor. Este deci vorba de discul optic numeric. O nouă unealtă s-a născut, a transformat radical metodele stocării şi difuzării informaţiei. Deosebirea între audiodisc — devenit aproape „clasic", datorită calităţii superlative a înregistrării — şi CD-ROM este una fundamentală: cel din urmă are înscrisă pe el informaţia sub formă numerică — în nişte mici adîncituri — ceea ce îl face să fie perfect compatibil cu echipamentele informaticii. Cum se realizeaz această? Printr-o eşantionare a semnalului analogic la perioade foarte scurte de timp (aproximativ 22 nsec), atribuindu-se ulterior fiecărui eşantion o valoare numerică (un număr binar). Aceste succesiuni de „0" sau „1" sînt gravate pe disc cu un fascicul laser sub forma unor adîncituri de ordinul unui micron (pe o spirală cu pasul 1,6 microni), într-o peliculă termosensibilă de 0,03 microni grosime. Compoziţia acestei pelicule este unul dintre punctele critice ale sistemului, deoarece ea presupune materiale rare şi scumpe cum ar fi telura de arsen şi seleniu. La lectură un alt fascicul laser detectează diferenţele între gol şi absenţa lui, informaţia binară fiind ulterior interpretată de către



18. Conversia analog/numerică: a) semnal analogic; b) eşantionarea semnalului cu o frecvenţă de 44 100 Hz; c) cuantificarea semnalului eşantionat; d) fiecare valoare este convertită binar.

sistem. În momentul integrării unui CD-ROM într-un sistem informatic, conversia analogică nu mai este necesară, datele putînd fi exploatate direct de către calculator (evident printr-o interfaţă specifică) într-un dialog în timp real. Capacitatea sa este impresionantă: de 1 400 de ori mai mare decît cea a unei unităţi de disc IBM PC şi echivalentul a peste 25 de discuri dure de 20 Mo fiecare. Această diferenţă se explică prin marea densitate care a fost posibilă datorită înscrierii şi citirii cu fascicul laser: acesta poate grava 1 milion de adîncituri pe o suprafaţă de 1 mm², fără eroare, în timp ce informaţiile magnetice trebuie să fie mult mai distanţate între ele pentru

a putea fi diferențiate de către capetele de citire. Există și inconveniente : CD-ROM-ul nu este adaptat pentru înregistrarea imaginilor de televiziune animate (discul compact transferă în jur de 150 Ko pe secundă, în timp ce, aceeași secundă de televiziune color reprezintă un volum de 30 Mo). Este deci imposibil, pentru moment, să se afișeze pe un ecran video cele 25 imagini/secundă pentru a crea senzația de mișcare naturală. Apoi, CD-ROM-ul nu este inscriptibil la beneficiar ; există totuși o variantă numită sugestiv „Tonomat" cu pachete de 100 de astfel de discuri care pot fi șterse și reînscrise optic de către utilizator, care este, deocamdată, un exemplu destul de singular pe piața unor astfel de echipamente.

Înainte ca acest nou sistem de stocare a datelor să se impună definitiv pe piață, vor trebui avute în vedere două aspecte esențiale : standardizarea unei norme tehnice unice care să le facă compatibile cu orice sistem ; stabilirea aplicațiilor profesionale și de larg consum în care se va înregistra o cerere mare și semnificativă de CD-ROM-uri.

Definirea unei norme unice este un imperativ absolut ; aceasta implică interconectare universală, deci recunoaștere de către orice calculator, caracteristici tehnice identice (viteză de rotație, dimensiunea), omogenitatea interfeței în organizarea datelor pe disc și în programele de indexare. Sistemele actuale de operare au performanțe insuficiente pentru a utiliza cu eficacitate marele volum de date al CD-ROM-ului, deci se impune necesitatea unor sisteme de operare specifice.

A doua mare problemă, aceea a folosirii la justa valoare a unei astfel de capacități este încă sub semnul controversei. În momentul înglobării într-o mare bancă de date, accesul trebuie să fie foarte

rapid, motiv pentru care discurile magnetice sînt încă preferate pentru acest gen de aplicații ; timpul mediu de acces la o informație pe disc dur se situează între 20 și 80 msec, iar pentru un CD-ROM este de 500 msec !

Ce ne rezervă viitorul în privința CD-ROM-ului? Adevărata explozie, spun specialiștii, va avea loc în 1990 prin introducerea pe piață a noului disc optic numeric CD I (Compact Disc Interativ), fiind vorba de un echipament inteligent care va funcționa OFF LINE, deci necuplat la calculator. CD I va conține un microprocesor specializat din familia Motorola 68 000 (68 070), deschizînd o breșă importantă în sistemele informaticii. Va soluționa oare acest disc compact problema atît de acută a stocării informației în condițiile societății moderne în care omul este confruntat cu atîtea probleme de rezolvat ? Este greu să dăm un răspuns chiar și estimativ sau o prognoză reală. Un lucru este însă cert : disputa memoriilor continuă, iar cîștigătorul (dacă va exista vreunul absolut) va fi poate un dispozitiv aflat încă în laboratoare, bazat poate pe altă logică decît cea binară și folosind alte suporturi de transmitere a informației.

CAPITOLUL 4

ROBOTUL ÎNTRE ARTICULAŢII ŞI COMENZI

Indiferent la ce etapă din istoria umanităţii ne-am referi, un posibil şi sintetic criteriu de evaluare a gradului de dezvoltare al acesteia îl constituie uneltele folosite, nume generic dat oricărui mijloc prin care omul a încercat să transforme natura. Simple, mecanice sau informaţionale, ele ne-au caracterizat, ne-au reprezentat, ni s-au integrat ca prelungiri fireşti; construindu-le, ne-am construit pe noi înşine într-o supremă încordare căreia numai actul creaţiei i-a dat sens.

Pînă nu demult maşinilor-unelte ale ultimelor două secole le lipsea o dimensiune esenţială a lumii vii: inteligenţa; ea a devenit o proprietate a acestora cînd omul, sesizîndu-i esenţa a reuşit s-o creeze în afara sa şi le-a transferat-o prin intermediul noilor tehnologii microelectronice. Robotul pare să fie printre primii beneficiari. Personaj de literatură ştiinţifico-fantastică, el a apărut atunci cînd demult sesizata complementaritate dintre mişcarea mecanică şi inteligenţa electronică a beneficiat de condiţii operaţionale de implementare. La această „întîlnire", calculatorul, ca reprezentant al maşinii inteligente a fost ultimul sosit, întîrzierea avînd raţiuni tehnologice; numai în momentul în care structurile

microelectronice şi facilităţile de programare au devenit acceptabile din punct de vedere al raportului performanţe-costuri, întregul s-a desăvîrşit dialectic, căpătînd un statut aparte, devenind o nouă entitate. Robotul este un produs „mecatronic", combinînd tehnologia mecanică cu tehnologia electronică. Pentru exemplificare să încercăm să ne imaginăm unul dintre primele calculatoare ale anilor '40, ENIAC, care se compunea printre altele din : 18 000 de tuburi electronice, 7 500 de relee, 7 milioane de rezistenţe, cîntărea 30 de t şi ocupa o suprafaţă de 145 mp, conducînd un simplu braţ robotizat (performanţele i-ar fi permis acest lucru — putea efectua 5 000 de operaţii elementare pe secundă). Exemplu este hilar şi de antologie.

Ajuns la „maturitate", robotul este unanim acceptat în prezent, ca o fericită alternativă pentru activităţile rutiniere, plictisitoare şi periculoase. El desemnează o mare varietate de aplicaţii industriale sau din alte sfere de activitate în care munca omului şi inteligenţa aferentă desfăşurării acesteia pot fi transferate unei maşini. Dezvoltarea industrială modernă a determinat reorientări de structură în domeniu. Costisitorilor androizi buni la toate (androizii sînt maşini cu înfăţişare umană care realizează cîteva dintre acţiunile şi funcţiile propriului nostru corp; scriitorul ceh Karel Capek definea de fapt prin roboţi fiinţe umanoide, personaje fantastice ale unei comedii scrise în deceniul al treilea al acestui secol; robotnik în limba cehă înseamnă sclav, servitor), le-au fost preferate braţele robotizate pentru care din nou raportul performanţe-costuri a fost hotărîtor în promovare şi dezvoltare. În prezent multe operaţii tehnologice în industria constructoare de maşini, dar şi în alte ramuri, pot fi rezolvate folosind roboţi din prima generaţie sau aşa

cum sînt cunoscuți, roboți industriali. Aceștia sînt sisteme electro-pneumo-hidromecanice cu funcționare automată, integrate unui mediu complex printr-un sistem senzorial limitat și aflate sub controlul unui sistem de comandă de tip calculator (sisteme cu microprocesoare). Primul robot industrial datează din 1962, prototipul firmei „UNIMATE" (S.U.A.). A urmat o perioadă de interes limitat pentru noii sosiți : se produceau cîteva exemplare pe an din cîteva modele. Adevărata explozie s-a produs odată cu revoluția pe care a marcat-o introducerea sistemelor cu microprocesoare, componente devenite foarte căutate pentru realizarea părții de calculator al noilor roboți.

Semnificativ pentru strategia dezvoltării domeniului este faptul că robotizarea industrială s-a orientat cu precădere — obținînd spectaculoase performanțe — spre procesul de producție cel mai puțin avantajat de tipurile de automatizare utilizate pînă atunci : asamblarea. Concomitent s-au dezvoltat celulele și liniile de fabricație flexibile deservite de roboți. Toate aceste opțiuni sînt consecința dezvoltării tehnice intensive : creșterea gradului de flexibilitate a sistemelor de producție, sporirea operațiilor de manipulare a sculelor și pieselor, testarea și sortarea interfazică a acestora, schimbarea configurației de lucru relativ frecvent de la un produs la altul, păstrîndu-se aceleași utilaje. Se obțin astfel ritmuri și intensități de lucru greu realizabile de om și care ar solicita eforturi fizice și psihice mult peste limitele normale, uneori chiar periculoase. Creșterea eficienței economice concomitent cu umanizarea muncii în sectoarele mai grele sînt două deziderate pentru care robotul apare ca unica soluție (introducerea automatizării flexibile a producției și robotica duc

la o creștere a productivității muncii estimată la circa 300%).

Fiind sisteme complexe, reprezentate de structură mecanică, sistem de acționare, senzorial și unitate de comandă — calculator electronic văzut în unitatea dialectică hardware-software (echipament — algoritmi de conducere — programe) — pentru roboți funcția întregului nu este reprezentată de suma simplă a părților componente. Într-o configurație dată, fiecare subansamblu poate reprezenta un handicap sau un real avantaj dacă parametrii acestuia, funcționarea lui sînt sau nu în corelație cu parametrii, funcționarea fiecărui subansamblu, sînt sau nu în concordanță cu scopul propus. De exemplu, în categoria roboților industriali, manipulatoarele simple sau programabile nu sînt prevăzute cu sisteme senzoriale avîndu-se în vedere complexitatea limitată a funcțiilor pe care se preconizează a le realiza : mișcări repetitive pentru care traiectoria este specificată prin comenzi codificate (programare textuală : secvența se compune din mișcări elementare, rotații și translații prevăzute explicit pe panoul de comandă al robotului), sau „învățate" în timpul efectuării pentru prima dată a acesteia de operator, prin comenzi manuale, în punctele principale ale spațiului de lucru și memorarea coordonatelor acestora (metoda „teach-in" sau tip antrenament).

În cazul roboților industriali inteligenți, dotați cu senzori diverși (tactili, de proximitate, de forță), cantitatea de informație disponibilă prelucrării crește : sistemele de comandă sînt mai evoluate, capabile să interpreteze întregul set de date primit și să acționeze asupra organelor de execuție în vederea realizării scopului propus. Principalele caracteristici ale roboților industriali pot fi sintetizate astfel : execută în special operații de manipulare, și

transport, care necesită viteză și exactitate; sînt dotați cu mai multe grade de libertate (2—6; se înțelege prin grad de libertate capacitatea de mișcare: rotație și/sau translație după una din direcțiile spațiului într-un sistem ortogonal), astfel încît ei pot să execute operații complexe; sînt autonomi, funcționînd fără intervenția sistematică a omului; sînt dotați cu capacități logice și senzoriale cu ajutorul cărora pot lua decizii precum și cu memorie reprogramabilă, capabilă să păstreze programe pentru conducerea întregului sistem. Caracteristica constructivă generală este însă lipsa adaptării — din lipsa unui sistem senzorial și a unei capacități de prelucrare evoluate — la schimbările mediului de lucru; acești roboți pot repeta o multitudine de operații însușite anterior numai în lipsa perturbațiilor; inconvenientul este însă compensat printr-o mare flexibilitate a facilităților de programare asigurîndu-se astfel funcționalitatea multiplă a acestor sisteme.

Un braț robotizat „emulează" acțiunile umane, adică simulează în condiții tehnice date — configurație mecanică și algoritm de conducere — mișcarea reală, realizînd uneori traiectorii și poziționări imposibile brațului uman. Pentru aceasta robotul interacționează cu mediul înconjurător prin structura sa mecanică, iar în cazul roboților inteligenți și prin sistemul senzorial. Structura de locomoție, care asigură deplasarea în cazul roboților mobili, poate fi de tip roată, șenilă sau picior pășitor. Structura de manipulare care asigură orientarea și poziționarea organului de execuție — mîna robotului — este constituită în general dintr-o bază fixă (de multe ori cu pivotare — rotație în jurul propriei axe) și mai multe brațe articulate (braț-antebraț). În cazul manipulatoarelor, mîna robotului poate fi prevăzută cu două sau mai multe degete de apucare; la roboți

tehnologici — de sudură, de vopsire — mîna este înlocuită de organul activ specific: pistol de vopsit, electrozi de sudură etc. Dacă structurile mecanice și sistemele de acționare au ajuns în general la niveluri unanim apreciate ca soluții viabile pentru diverse tipuri de roboți, „organele de simț" ale acestora și partea de calcul — sistemele de prelucrare: microprocesoare, calculatoare, sisteme de calcul distribuite — dar mai ales algoritmii de conducere, algoritmii adaptivi și elementele de inteligență artificială sînt susceptibile de perfecționări spectaculoase care să ofere soluții de integrare într-o măsură și mai mare a robotului în mediul industrial sau al vieții sociale. Ceea ce este nou în lumea roboților este tipul, mărimea și acuratețea senzorilor, precum și „abilitatea" de a calcula (rezolva) ecuații de mișcare complexe, într-un timp foarte scurt (timp real), pentru a determina exact semnalele operaționale pentru robot.

Cea de-a doua generație de roboți, a dezvoltat roboții adaptivi, capabili să se integreze într-un mediu variabil sau parțial cunoscut: insensibili la perturbații, aceștia au dezvoltate puternice sisteme senzoriale prin intermediul cărora interacționează permanent cu mediul înconjurător dispunînd de capacitate de decizie și autoinstruire (îmbogățirea, completarea cunoștințelor despre mediul de lucru). Lumea vie a constituit și în acest caz un model de neînlocuit. Paradoxal sau nu, dar vedem, simțim, auzim, mirosim cu ... creierul. Organele de simț sînt în exclusivitate traductori inteligenți. La acest nivel senzația este convertită într-un impuls nervos proporțional cu semnalul recepționat și apoi transmisă unității centrale de prelucrare, creierul — un imens sistem multiprocesor — și prelucrată de zone corticale bine individualizate, adevărate micro-cal-

culatoare specializate. Rezultatele sînt corelate cu alte informaţii din memorie sau la fel de proaspăt prelucrate şi apoi pe baza acestora elaborate judecăţi sau raţionamente, luate decizii ce sînt ulterior comunicate sau stocate. Preluîndu-se modelul se realizează prin intermediul sistemelor senzoriale, din ce în ce mai perfecţionate, cadrul pentru dezvoltarea maşinii inteligente, robotul din generaţia a treia.

Dar să particularizăm : ochiul asigură pînă la 85% din viaţa de relaţie a organismului cu mediul înconjurător (văzul este deci simţul cu ponderea cea mai mare în integrarea organismului viu). Pentru roboţi senzorii optici sînt reprezentaţi de : camere de luat vederi (simple sau stereo), ochi construiţi pe principiul radarului folosind unde electromagnetice sau raze X, sau ochi termici care prelucrează radiaţia infraroşie emisă de corpuri, funcţie de temperatura la care se află.

Remarcabil prin structura sa mozaicată, prin potenţialul de cercetare pe care îl oferă ca sistem vizual elementar este însă ochiul de insectă (dintre acestea cel de muscă pare să fie cel mai investigat). Pentru a reuşi descifrarea mecanismelor intime ce se produc la nivelul neuronilor, al terminaţiilor nervoase ce convertesc stimulul luminos în semnal electric propriu reţelei neuronale trebuie investigat un sistem vizual rudimentar. Este ceea ce şi-au propus specialiştii ; ochii panoramici de muscă sînt compuşi din peste trei mii de faţete orientate în evantai pe întreaga suprafaţă sferică a acestora. Fiecare faţetă a acestui ochi mozaicat este la rîndul său un ochi în miniatură orientat după o direcţie fixă şi dotat cu celule fotoreceptoare ce captează o imagine minusculă şi parţială a ceea ce o înconjoară. Spaţiul este astfel cercetat şi investigat cuprinzător : fiecare insectă are doi ochi ; fiecare ochi are trei mii de faţete ;

fiecare faţetă are cîte opt celule fotosensibile ; în total 48 000 de celule specializate în perceperea imaginilor. Impresionant ! Pentru reproducerea acestui aparat vizual într-o maşină inteligentă trebuie înainte de toate cunoscută funcţionarea sa. Cum priveşte de fapt o muscă, ce prelucrări (calcule în sens matematic) realizează reţelele neuronale pentru prelucrarea mesajului vizual, care este algoritmul (secvenţa operaţiilor) ce permite o tratare şi interpretare corectă a informaţiilor, care este structura de organizare a terminaţiilor nervoase care permit desfăşurarea tuturor acestor secvenţe în prelucrarea stimulului vizual ? Întrebări cărora specialiştii în fiziologie animală şi cei din domeniul inteligenţei artificiale, pornind de la rezultate experimentale au început să le găsească răspunsuri. Soluţiile informatice preconizate se înscriu în domeniul mai larg al recunoaşterii formelor (configuraţiilor). Avînd la bază mecanismul clasificării, prelucrarea imaginilor detectate de sistemele optice ale noilor generaţii de roboţi se constituie într-un domeniu nou, în plin progres, al graficii pe calculator. O imagine recepţionată se transformă în vederea prelucrării într-o descriere abstractă : mulţimi de numere, şiruri de caractere, grafuri. Folosind facilităţile oferite de tehnica prelucrării imaginilor : eliminarea zgomotelor, compactarea informaţiilor, întărirea contrastului imaginilor, se poate uşura procesul recunoaşteri formelor grafice. Indiferent că se preferă perceperea obiectelor tridimensionale (costisitoare ca soluţie tehnică hardware-software şi nu în ultimul rînd şi din punct de vedere al costurilor) sau cea bidimensională tratînd imagini binare, perceperea vizuală permite : localizarea şi identificarea obiectelor, verificarea prin comparaţie cu un model sau clase de modele aflate în memoria calculatorului, autocontrolul privind

poziţia relativă între diferitele părţi componente ale robotului sau între mîna acestuia şi obiectul manipulat. Atractivă atît pentru aplicaţiile practice cît şi pentru studiile teoretice datorită complexităţii problemelor ce trebuie rezolvate la nivelul senzorului vizual şi al calculatorului, vederea artificială suscită un interes din ce în ce mai mare din partea unei categorii largi de specialişti. Sfîrşitul acestui deceniu promite o soluţie cel puţin la nivelul ochiului micilor insecte, ca senzor vizual dar dotat cu mult mai multă inteligenţă, graţie spectaculoaselor progrese înregistrate în realizarea sistemelor de prelucrarea pe calculator a imaginilor.

Auzul este al doilea simţ ca importanţă în ierarhia ponderilor privind integrarea în mediu. Urechea artificială, inevitabil electronică, rămîne din punct de vedere al principiului de funcţionare, fidelă urechii animale, fiind orientată spre înţelegerea vorbirii, problemă deosebit de actuală pentru orice calculator electronic şi deci nu numai pentru roboţi ; dincolo de realizarea organului de simţ (senzorul propriu-zis), înţelegerea vorbirii din punct de vedere tehnic este tot o problemă de inteligenţă artificială — de recunoaşterea formelor — care de această dată sînt frecvenţe şi intensităţi ale semnalelor sonore. Formulată astfel problema are şi un revers, cel al sintezei vocii umane, aspect mai puţin complicat din punct de vedere al realizării practice, o mulţime de maşini mai mult sau mai puţin „gînditoare" fiind deja echipate cu astfel de sintetizatoare de cuvinte.

Dincolo de interesul ştiinţific, problema sintezei şi recunoaşterii vocii umane a decurs din multiple necesităţi practice. Să încercăm să ne gîndim la orice, oricît de simplu ; în mintea noastră gîndul se va materializa, fie sub forma unei imagini construite cu „ochii minţii", fie sub forma cuvintelor, propoziţiilor,

frazelor şi de cele mai multe ori combinate cele două modalităţi. Comunicarea umană indiferent cît de simplă ar fi, este greu de realizat în afara cuvîntului deci a limbajului vorbit sau derivatul său , limbajul scris. Diversificarea tipurilor de maşini folosite, creşterea complexităţii lor fac din ce în ce mai dificilă conducerea acestora numai cu ajutorul butoanelor şi manetelor ; se impune deci implementarea comenzilor pe calea cea mai eficace, proprie nouă : prin voce şi implicit aşteptarea unui răspuns oral sintetizat de maşină. Simplitatea utilităţii pe această cale a calculatorului — căci indiferent de echipament, înţelegerea vorbirii este în primul rînd o problemă de calculatoare — ar face inutilă o specializare prealabilă, şi ar permite publicului larg accesul la tehnologiile de vîrf ale viitorului.

După decenii de conversaţie, folosind metode greoaie (cartelele şi benzile perforate, tastaturile, imprimatele şi display-ul) comunicarea om-maşină (oricare ar fi aceasta) intră în faza umanizării definitive prin folosirea vocii noastre. Dispar astfel dezavantajele reprezentate de timpul prea lung de comunicare, de necesitatea specializării operatorului, de gabaritele şi preţurile mari ale unor astfel de terminale, de dificultăţi în transmiterea de date. Să reţinem un amănunt : oricare ar fi, o nouă facilitate introdusă pentru utilizator presupune o amplificare considerabilă a efortului de proiectare-realizare pentru constructor. Implacabil legile progresului tehnologic nu funcţionează pentru toţi în acelaşi sens. Dificultatea problemei rămîne aceeaşi : are loc acelaşi transfer de competenţe ; o serie de funcţii sînt preluate de maşină, graţie uriaşului efort de creaţie tehnică devenită, pe spaţii înguste, deosebit de specializată şi facilitînd utilizatorului neavizat, accesul la

multiple posibilităţi de folosire ale unei game din ce în ce mai mari de aplicaţii.

De la recunoaşterea primelor cuvinte (primele 10 cifre) de către o maşină au trecut peste trei decenii. În prezent există sisteme informatice ce pot recunoaşte mii de cuvinte pentru un număr limitat de persoane, aceste sisteme trec de la faza de realizabile la faza de eficienţe. Dată fiind complexitatea semnalului sonor uman (cuvintele — sunete articulate cu un anume înţeles — sînt forma superioară de reprezentare a realităţii) şi a dificultăţilor analizei acestuia, numărul persoanelor identificabile de un calculator este totuşi limitat. Pentru a deveni într-adevăr performantă analiza trebuie realizată la nivelul fenomenelor (cele mai mici unităţi sonore ale limbii, care au funcţia de a diferenţia între ele cuvintele precum şi formele gramaticale ale aceluiaşi cuvînt) şi a legăturilor dintre acestea pentru a obţine recunoaşterea cuvîntului ca entitate fonică şi ulterior ca înţeles. Odată depăşit acest nivel trebuie implementaţi algoritmi care să poată integra cuvintele recunoscute în structuri mai complexe: propoziţii, fraze. Problemele de sintaxa şi semantica limbajului — regulile care descriu formarea propoziţiilor, respectiv interpretarea propoziţiilor şi a frazelor — se înscriu ca multe alte „necunoscute" prezentate, în domeniul inteligenţei artificiale a cărei sarcină constă, în acest caz, în recunoaşterea semnificaţiei propoziţiilor corecte şi după aceea traducerea acestora în alt limbaj sau alte prelucrări. Proiectul calculatorului din generaţia a cincea, proiectul japonez, prefigurează şi din acest punct de vedere cîteva direcţii de cercetare şi dezvoltare. Se preconizează realizarea de funcţii de introducere-extragere în regim conversaţional a informaţiilor cu ajutorul vorbirii şi a limbajului natural, regăsirea informaţiei

documentare pentru utilizarea cunoştinţelor în scopul realizării unui sistem integrat de traducere automată din mai multe limbi, sistem de identificare a vorbitorului ca parte componentă a unui sistem universal de răspuns prin voce. Concludente din acest punct de vedere sînt deja realizările obţinute în procesarea textelor; conştienţi de importanţa cuvîntului ca entitate de bază în mecanismele gîndirii, cercetătorii şi-au concentrat atenţia în direcţia implementării de programe care reprezintă nuclee ale viitoarelor maşini inteligente. A fost perfecţionată despărţirea cuvintelor în silabe, sesizarea greşelilor de ortografie, substituirea prin paginarea automată a unor porţiuni de text şi alte facilităţi. Totuşi dificultăţile înregistrate în rezolvarea problemelor de sintaxa şi semantica limbajelor fac ca mult aşteptata dactilografă fonică-sistem informatic de recunoaştere a vorbirii şi transcrierea în limbaj scris a acesteia, să nu poată fi aşteptată înaintea sfîrşitului de secol.

Simţul tactil, pipăitul, al treilea simţ strict necesar unui robot a fost dezvoltat chiar şi pentru roboţi industriali. Senzorii tactili, de prezenţă, de proximitate, concură la obţinerea de informaţii despre obiectul ce trebuie apucat, dacă a fost sau nu apucat, despre forţa necesară de strîngere. O realizare de prestigiu în domeniu o reprezintă teleprezenţa; metoda vizează transmiterea la distanţă a mişcărilor operatorului uman în condiţiile unui mediu periculos, păstrîndu-se acurateţea şi precizia mişcării iniţiale; de exemplu o mînă artificială intim legată prin diverşi senzori de mîna utilizatorului primeşte comenzile de mişcare şi transmite informaţii despre caracteristicile mediului în care se află. Să ne gîndim numai la tehnologia nucleară, chimică sau microelectronica şi aplicaţia este pe deplin justi-

ficată. Prin performanțele tehnice obținute se înlătură parcă senzația de dublură.

Nici simțul olfactiv, mirosul, sau cel gustativ nu au fost neglijate; pentru roboții înzestrați cu astfel de simțuri — în acest caz soluțiile sînt prin excelență chimice — se oferă ample posibilități de afirmare în industria cosmetică, alimentară sau oriunde este nevoie de astfel de experți.

Perfecționat, sistemul senzorial pentru robotul din generația a treia, robotul inteligent, principala resursă de dezvoltare rămîne calculatorul electronic, puternic determinat de structura sistemului de comandă și control și de elementele de inteligență artificială încorporate în programele ce animă structurile.

În cazul roboților evoluați (generația a II-a și a III-a) sistemul de comandă și control este structurat ierarhic, pe niveluri. Nivelul superior coordonează aspectele generale, pe cele mai lente (exemplu, clasificări, strategii de urmat etc.), în timp ce nivelul inferior pe cele mai concrete și mai rapide (execuția mișcării, poziționări de precizie, mici corecții). Din punct de vedere calculator aceasta presupune existența unui sistem supervizor de calcul, care are implementați algoritmi generali de conducere, elemente de inteligență artificială (nivelul superior) și integrarea acestuia într-o rețea distribuită compusă din structuri cu microprocesoare care asigură comanda efectorie locală (nivel inferior); sînt asigurate canale de comunicație bidirecționale cu nivelul superior prin care se primesc comenzi (secvențe de programe) și se transmit informații recepționate de la sistemul senzorial.

Operatorul — integrat sau nu sistemului robot— comunică cu calculatorul prin intermediul unui sistem de întreruperi și el ierarhizat. În regimul semiautomat (interactiv) operatorul este solicitat periodic pentru reluarea ciclului de funcționare, decizii operaționale majore în funcție de configurația spațiului de lucru etc. În cazul sistemelor automate, operatorul poate întrerupe periodic robotul (în acest caz numai opțional), îi supervizează deciziile, poate schimba condițiile de operare sau poate interveni în caz de pericol.

O prezentare metodologică succintă a nivelelor ierarhice de comandă poate fi următoarea:

Primul nivel — de generalitate maximă; pe baza informației primite de la senzori și a strategiei generale implementate prin program se iau decizii, se stabilesc condiții (exemplu, în fața robotului apare un obstacol, informația preluată de la senzori pe baza programelor existente în memorie conduce la concluzia că obstacolul are o înălțime de 1 m, lățime de 2 m, lungime de 0,5 m și se ia decizia ocolirii lui).

Al doilea nivel — se stabilește strategia de urmat; operațiile impuse pentru atingerea scopului propus sînt divizate în mișcări elementare (exemplu, pentru a ocoli obstacolul se evaluează numărul de translații, rotații necesare, conform algoritmilor implementați).

Al treilea nivel — se descompun mișcările elementare în deplasări corespunzătoare fiecărui grad de libertate (exemplu, pentru depășirea obstacolului, conform informației primite de la senzorii vizuali este necesară prin alte mișcări și o pivotare în jurul axei proprii de 100^0).

Al patrulea nivel — executiv; se dă comanda de deplasare urmîndu-se realizarea mișcării pe fiecare grad de libertate (exemplu, se dă comandă de începere a pivotării cu o anumită viteză, urmărindu-se poziționarea după depășirea limitei).

Ultimele două nivele sînt caracteristice tuturor tipurilor de roboți; dotarea și cu primele două niveluri determină construirea roboților inteligenți. Nivelul trei generează traiectoria de urmat, iar nivelul patru o execută. Existența perturbațiilor se analizează pe nivelul doi — strategic — prin algoritmi adaptivi, specializați.

Inteligența artificială — cea care a introdus de fapt mai multă structură în gîndirea noastră despre gîndire — rămîne totuși principala resursă pentru dezvoltarea robotului din generația a III-a. Înzestrat cu anumite calități specific umane : capacitatea de a învăța, de a se adapta, de a-și reprezenta mediul înconjurător, de a-și planifica, anticipa și optimiza acțiunile el primește sarcina de rezolvat în limbaj natural ca obiectiv de îndeplinit. Privit din perspectiva ierarhiei generațiilor de roboți, robotul inteligent încorporează structuri ale generațiilor anterioare ; la acest nivel se înregistrează creșterea capacității de adaptare la mediu prin prelucrarea unui volum sporit de informație senzorială, cu un grad înalt de abstractizare (simboluri numerice, șiruri de caractere, grafuri), creșterea autonomiei robotului, a complexității structurilor efectorii concomitent cu a sarcinilor de rezolvat, simplificarea programării și inevitabil creșterea costurilor.

Caracteristicile robotului din generația a treia, o parte dintre ele aflate numai la granița posibilului, dimensionează firesc imaginea androizilor din povestirile științifico-fantastice. Domestici sau industriali ei sînt perfecționați continuu, răspunzînd astfel eternei aspirații de a ne ușura munca și a umaniza mediul ambiant deopotrivă, sfidînd parcă imposibilul. Rapizi, eficienți, exacți, fără să se plictisească, roboții văd, aud, vorbesc, transportă, sortează, iau decizii dar ... nu pun întrebări neprogramați. Întrebarea euristică (Unde? Cum? Cînd? De ce?), „motorul" inteligenței umane, este deocamdată o taină pentru robot. În momentul în care o mașină va pune întrebări neprogramată limitele dintre cele două tipuri de inteligență nu se vor mai cunoaște net.

Șansa dar în aceeași măsură handicap, dintre toate subsistemele, calculatorul electronic, oferă măsura robotului de azi și condiționează imaginea robotului de mîine; domeniul inteligenței artificiale rămîne deschis unor spectaculoase dezvoltări care îi vor amplifica nemăsurat forța creierului electronic, transformîndu-l într-un asistent cu adevărat inteligent al omului și demonstrîndu-i astfel vocația universalității.

CAPITOLUL 5

ÎN CĂUTAREA UNEI... MUZE

Încet, dar sigur, calculatorul electronic a pătruns, la început cu multă timiditate, în lumea, prin excelență, „umană" a artelor. Cum? Înlocuind creatorul? „Tehnologizînd" arta prin transferul ei în universul rece al supermașinilor? Desigur că nu ... Dar, în ce constă aportul calculatorului electronic la actul de creație, vom vedea în cele ce urmează.

5.1. Inteligența artificială, mit sau realitate?

Iată o noțiune de foarte mare circulație în lumea de azi a informaticii. Reactualizarea ei — după cîțiva ani de uitare — a coincis cu o adevărată explozie a aplicațiilor specializate și a calculatoarelor dotate cu programe capabile să ... raționeze! Inteligența artificială (AI — Artificial Intelligence), tehnologia mașinilor care „gîndesc", a ieșit încet din laboratoare, stimulînd și favorizînd o adevărată revoluție în lumea calculatoarelor, despre care experții în domeniu afirmă că este întrucîtva similară cu însăși revoluția industrială prin implicațiile majore în diferite procese tehnologice. Așa cum calculatoarele

convenționale se dezvoltă în direcția creșterii vitezei de procesare a datelor, la fel și calculatoarele AI „își propun" să îmbunătățească rezultatele activității lor pentru orice proces care apelează la o bază de cunoștințe în care sînt înglobate experiențe, rezultate. Pentru o comparație mai plastică, se poate spune că un calculator convențional pentru procesare de date ia în considerare niște numere pe care le „rumegă" pentru a concluziona o analiză de bilanț, de exemplu, sau orice alte statistici cerute de beneficiar. Un calculator AI analizează în detaliu anumite probleme (cum ar fi, bunăoară, simptomele pentru o anumită boală), cărora le aplică anumite reguli de inferență conforme cu baza de cunoștințe stocată în memorie. Finalul acestei procesări este o sentință care poate fi — pentru a rămîne la exemplul nostru de mai sus — ceva de genul: pacientul are guturai, recomandăm două aspirine pe zi!

Sînt nelimitate „puterile" AI? Deocamdată nu. Problemele sînt cu mult mai complexe decît par, așa încît experții și-au propus, pentru ultima decadă a secolului, o dezvoltare ramificată care să cuprindă mașini de mare putere, cu acces rapid, viteze de procesare mult mai mari, sinteza vocală și sisteme de recunoaștere. Următorii ani vor îndreptăți speranțele care se pun în AI și în sistemele expert, cu atît mai mult cu cît s-au înregistrat deja succese remarcabile. Iată cîteva dintre ele: recent a fost pus la punct în Franța un sistem expert pentru marele public, asigurînd servicii la domiciliu cu informații diverse din medicină, poștă, rezervări și orice alte activități grupate în termenul generic de servicii publice. Aceste sisteme funcționează prin rețeaua telefonică „Minitel", accesul făcîndu-se rapid și direct. O aplicație de ultimă oră în domeniul sistemelor expert: a fost dezvoltat un sistem capabil să studieze

spectrele în infraroșu, program ce permite analiza substanțelor necunoscute, făcînd apel la ceea ce numim modalități de stăpînire a incertitudinii. Este anunțată o nouă versiune a limbajului Prolog (care, alături de LISP și alte limbaje, poate mai puțin „populare", se constituie în limbajele de bază pentru AI), BIM, compatibilă cu sistemele DEC 10, a cărei viteză de lucru va fi de 200 klips (kiloinferențe logice pe secundă). Această versiune include și o vastă bibliotecă grafică. Pompierii din Franța dispun de un nou instrument de prevenire a incendiilor (care au afectat în ultima vreme sute de hectare de zone împădurite); este vorba de un sistem expert de gestiune care are stocate în calculator toate datele aferente pentru organizarea rapidă a acțiunii de intervenție : date topologice, felul vegetației, date meteo ; în funcție de situația dată, calculatorul enunță procedura optimă pentru intervenție rapidă, evaluarea riscurilor, strategii de prevenire. Rapid și cu „sînge rece", sistemul calculează fără greșeli sau emoții intervenția ...

Roboți inteligenți, evaluare de zăcăminte diverse, versiuni LISP pentru artă grafică, diagnoză și cercetare medicală și încă multe altele, perspectivele AI se anunță promițătoare. Totuși o întrebare rămîne : pe cînd mașina care va învăța singură din propria ei experiență?

5.2. „Fantoma" pianistului sau calculatorul ... piano fortissimo

Cortina se ridică. Pe scenă se află un pian mare care începe să cînte ... fără pianist. Incredibil? Și totuși sunetele care se împrăștie în sala de concert sînt divine, amintindu-i fiecărui meloman virtuo-

zitatea pianistului preferat. Trebuie să facem o precizare încă de la început : nu este vorba de un pian electronic, ale cărui sunete să fie rezultatul „activității" unor componente, ci de un adevărat pian de concert, un „Bösendorfer", „Imperialul", care măsoară 2,90 m lungime și este dotat cu 8 octave complete (97 de clape față de 88 cîte are un pian standard). Am făcut această precizare pentru a nu exista nici un fel de confuzie între un astfel de instrument și cele care intră în categoria sintetizatoarelor apărute în prezent într-un număr impresionant.

Ideea pianelor cîntînd fără ... pianist nu este nouă, ea fiind pusă în aplicare încă de la sfîrșitul secolului al XIX-lea. Acționarea pneumatică a clapelor pianului va fi preluată și perfecționată în „era electronicii". Cum? Vom vedea în cele ce urmează.

Totul a început de la pasiunea pentru informatică a unui pianist sau mai bine zis de la dorința unui informatician de a reuni într-o concepție unitară și cu rezultate optime două domenii atît de divergente în aparență : lumea eternă, plină de poezie și farmec a muzicii cu cea a universului aparent rece al calculatoarelor. Este posibilă o astfel de fuziune? Răspunsul — oricît ar părea de temerar — este afirmativ. Sistemul a fost pus la punct pornind de la un calculator specializat și un pian imperial de concert, regele necontestat al instrumentelor muzicale, în așa fel încît acesta din urmă interpretează singur o anumită partitură cu precizie extremă; partitura a fost în prealabil înregistrată de către calculatorul la care pianul este conectat, alcătuind împreună o insolită aplicație a inteligenței artificiale.

Principiul adoptat este același cu cel al vechilor pianole : înregistrarea constă în a măsura apăsarea

clapelor, dinamica ciocănelelor și viteza cu care clapele sînt acționate. Aceste informații înregistrate vor fi ulterior restituite instrumentului printr-un dispozitiv care va reproduce identic toate mișcările descrise mai sus. Sub fiecare clapă și pe fiecare ciocănel care lovește corzile se află o piesă mecanică foarte ușoară (0,2 g), care nu afectează cu nimic sensibilitatea instrumentului. Fiecare dintre aceste piese mecanice se deplasează împreună cu suportul propriu, trecînd prin fața unui captator electro-optic. Sistemul informatic analizează starea acestor captatoare cu o perioadă de 1,25 ms. Calculatorul măsoară astfel presiunea clapelor și viteza de deplasare a ciocănelelor cu o foarte mare finețe. Trebuie spus că, pe același principiu, alte captatoare analizează mișcarea pedalelor. Rezultatul este un fișier informatic, care cuprinde pentru fiecare unitate de timp (1,25 ms) numele clapei acționate și intensitatea notei, calculată printr-o combinație între adîncimea clapei și dinamica mișcării ciocănelului. Precizia cu care se calculează aceste date este și ea deosebită : intensitatea este măsurată raportat la o scară cu 1 024 de poziții ; fortissimo maxim este la cota 0, iar cel mai slab pianissimo la 1 024 ; dacă se apasă cu toată forța pe o clapă, se obține maximum valoarea 10 (nimeni nu a reușit pînă acum să atingă acel punct 0). Cu alte cuvinte, sistemul dispune de o remarcabilă finețe de analiză a mișcărilor, care depășește chiar performanțele tehnice ale celor mai mari pianiști.

Restituirea este cu mult mai complexă, deoarece ea trebuie să acționeze niște dispozitive mecanice, altfel zis, trebuie să învingă inerția acestora. Și sistemul reușește să o facă deoarece funcționează pe baza principiului „feed-back".

Sub placa de armonie a pianului se află o cutie metalică ce conține 97 de pistoane mici (cîte unul pentru fiecare clapă) care au rolul de a lovi clapele pentru a reproduce în acest mod mișcările înregistrate pe calculator. Fiecare piston este comandat de un solenoid excitat de un dispozitiv electronic, care transformă informațiile numerice de la calculator în energie electrică (într-o plajă cuprinsă între 0 și 80 V). Această conversie se efectuează cu aceeași perioadă de 1,25 ms ; viteza deplasării pistonului este în acest mod controlată constant de către datele care modulează intensitatea electrică. Schimbul permanent între cele două tipuri de informații asigură un control foarte fin și eficient asupra mișcării clapelor. Mișcarea pistonului nu este transmisă într-o manieră liniară ; el se poate deplasa inițial foarte lent și apoi din ce în ce mai repede, aceasta făcîndu-se într-un interval foarte scurt de timp.

De altfel au fost deja făcute confruntări între interpretări originale și cele reproduse de către calculator. Un analizor de sunet pentru banda 0—20 000 Hz a furnizat spectrele acustice comparative ale celor două versiuni. Diferențele între ele sînt infime și greu de perceput chiar și de către cea mai muzicală ureche.

Primele aplicații ale acestui sistem în cercetarea fundamentală sînt în domeniul ... inteligenței artificiale, în care studiile sînt organizate în trei direcții principale : dezvoltarea unor modele informatice ale compoziției muzicale studiind piese reprezentative ale unor stiluri bine delimitate (romantismul, barocul german etc.) ; studierea unor elemente deosebite în percepția unor opere muzicale ; conceperea unor instrumente de lucru (sisteme evoluate de calcul) pentru a percepe exact, a reconstitui și a

analiza concertele și interpretările muzicale „în direct".

Convertirea notelor în fișiere numerice și vizualizarea acestora pe un ecran conduc la o concluzie foarte interesantă; se observă, de exemplu, că toate notele dintr-un acord — care figurează pe partitură pe aceeași coloană — nu sînt de fapt interpretate simultan! Există întotdeauna un decalaj între ele: bunăoară, înregistrarea acordului „do-mi-sol-do" va fi transcrisă pe ecran la modul următor: „do" la momentul 1 123, „mi", la 1 134, „ sol" la 1 128 și „do" la 1 140. Dar — și aici intervine de fapt paradoxul — cînd pianul reinterpretează singur, corectînd cu ajutorul calculatorului aceste decalaje pentru a se obține un acord perfect sincron, se constată că acesta sună ... plat; cu alte cuvinte, aceste decalaje sînt parte integrantă a muzicalității, a particularității fiecărei interpretări. Această cuantificare deschide, de fapt, noi și pasionante perspective muzicologiei.

Calitatea unei astfel de înregistrări este superioară celei de pe disc, care nu va putea niciodată să redea sunetul real al unui pian cîntînd într-o sală de concert! În acest mod se vor putea conserva aproape „în direct" interpretări celebre care să constituie pentru generații de muzicieni o referință și în același timp o școală. Una dintre perspectivele imediate ale sistemului „calculator piano-fortissimo" este deci dotarea cu aceste echipamente complexe a centrelor de cercetări muzicologice, dotare ce permite, pe lîngă o instruire la cele mai înalte cote a celor care bat la porțile consacrării (nu este puțin lucru pentru un pianist să studieze o anumită partitură cu ... Horowicz și să se poată în orice moment confrunta cu ea!), și studii diverse în domeniu. Iar pentru pianiștii consacrați acest sistem reprezintă un mod

de lucru și de autoperfecționare fără precedent deoarece interactivitatea „echipamentului" le permite să se asculte și, evident, să se corecteze!

Și totuși, după opinia unor pianiști, acestui sistem îi lipsește dimensiunea umană, acel moment indefinit în care pianistul face corp comun cu pianul și rezonează cu sala, adică acel „ceva" pe care nu știe încă să-l transmită chiar și cel mai fidel și profesional pian-robot!

Dar dacă Arthur Rubinstein ar fi putut să înregistreze pe un astfel de „Bösendorfer" oricare dintre partiturile sale memorabile, nu ați fi asistat astăzi cu emoție la un concert pe care l-ați fi putut din nou auzi executat de un pian „adevărat" și nu pe un disc?

De la pianolă la sintetizator. Imperialul „Bösendorfer" asistat de calculator are deopotrivă și înaintași, și concurenți, chiar dacă nici unul dintre aceștia din urmă nu ating pentru moment performanțele sale. Pe la sfîrșitul secolului trecut (1880—1885) au apărut primele piane automate (la aproape două secole de la inventarea instrumentului). Automatismul acestor instrumente consta în desenarea cu mîna pe un rulou de hîrtie sulfurizată a unor mici dreptunghiuri care simbolizau intervalul de timp în care o clapă era apăsată. Ruloul era apoi perforat tot cu mîna în dreptul acestor dreptunghiuri și trecut în fața unui cilindru de cupru. Acționînd două pedale similare celor de la armoniu, se punea în funcțiune o pompă care aspira aerul prin anumite orificii ale cilindrului în momentul în care acestea coincideau cu perforațiile de pe ruloul de hîrtie; în sfîrșit, un mecanism întreg care rezulta din această instalație de bază era plasat în fața pianului și reușea să apese clapele cu o anumită cadență, rezultatul fiind o execuție mecanică fără nici o

nuanță. Începutul secolului XX aduce după sine importante perfecționări ale acestei tehnici; mecanismul este integrat în pian, iar nuanțele de interpretare se codifică suplimentar pe acel rulou de hîrtie; pedalele grele sînt înlocuite de un motor electric; performanțele vremii notează integrarea pînă la 16 niveluri de intensitate pentru o anumită notă! Anii '30 aduc îmbunătățiri sistemului, reportajele vremii notînd cu multă savoare că pianiști ca Alfred Cortot și Arthur Rubinstein s-au lăsat cuceriți de această invenție, intrînd în jocul noutăților, în vreme ce alții combăteau cu violență monstruoasa mașinărie! Pianola a căzut în desuetudine de-a lungul vremii și abia ultimii douăzeci de ani — și mai ales era informaticii și electronicii — au reușit să-i reabiliteze memoria, perfecționîndu-i principiul în concordanță cu tehnica modernă. O mențiune aparte se cuvine a fi făcută tehnologiei propuse de cercetătorii japonezi prin norma MIDI (Musical Instruments Digital Interface); ea constă într-o interfață specializată care permite conectarea instrumentelor muzicale electronice la un microcalculator; cu ajutorul acestui sistem sînt posibile „pilotarea" unui sintetizator de la tastatura microcalculatorului, precum și interconectarea — după diferite criterii — a mai multor instrumente muzicale echipate, evident, cu aceeași interfață. Era deci tentantă integrarea acestei interfețe unui pian clasic, ceea ce a și realizat recent cunoscuta firmă producătoare de instrumente muzicale „Yamaha". De la claviatura unui astfel de pian este posibilă comandarea unei întregi orchestre, formată din instrumente electronice interconectate. Tot cercetătorii japonezi sînt cei care au anunțat recent punerea la punct a unui pian computerizat de un nivel comparabil cu europeanul „Bösendorfer"; este vorba de o versiune modernă a clasicei pianole care utilizează un fascicul laser pentru a înregistra mișcarea clapelor.

Oare cum va fi interpretat Mozart de către pianiștii viitorului mileniu?

5.3. Cînd calculatorul devine ... artist!

Ce pot avea în comun un timbru poștal, o țesătură oarecare și un tabloul al Renașterii italiene? În aparență nimic, sau foarte puțin; mai exact spus, un calculator specializat în prelucrarea imaginilor, capabil să *graveze* un timbru, să *conceapă* o țesătură și să *restaureze* un tablou vechi. Iată deci cîteva aplicații mai puțin obișnuite ale calculatoarelor, care, datorită programelor specializate și performante, au pătruns în domenii aparent fără nici o legătură cu lumea informaticii. Cum s-a reușit aceasta? Nu foarte simplu, după cum vom vedea în cele ce urmează.

În fața imaginilor tridimensionale și a filmelor de animație create în întregime pe (și de către) calculator, reproducerea unei gravuri vechi sau reconstituirea unei litografii pot părea aplicații modeste, fără prea mare importanță. Și totuși ... Pentru specialiștii din industria textilă, istoria artei și din grafică aceste aplicații se anunță foarte promițătoare. Dar pentru a ne face o imagine corectă și reală asupra performanțelor calculatorului în aceste domenii, să pătrundem puțin în atelierul unui gravor, încercînd să-i deslușim meșteșugul.

Gravura, după cum se știe, este unul dintre primele procedee de reproducere a imaginilor. Munca unui gravor nu este ușoară, dar mai ales este ireversibilă: pentru orice greșeală pe care o face pe par-

cursul executării unei litografii, el trebuie să ia munca de la început. Procedeul de gravare în metal fără ceea ce se numește apă tare (sau acid clorhidric) și care are ca rezultat producerea unei stampe, presupune o precizie deosebită la trasarea șanțurilor ce urmează a fi umplute cu cerneală; orice linie greșită duce, practic, la anularea muncii de pînă atunci. Dacă se gravează în culori, trebuie executate trei sau patru gravuri succesive corespunzătoare culorilor primare de imprimerie : galben, roșu, albastru și negru, gravura finală obținîndu-se prin suprapunerea acestora. Cert este un lucru : fie că este vorba de stampe sau de acvaforte, orice eroare compromite gravura, transformînd o muncă de creație frumoasă prin finalitatea ei într-una laborioasă, de rutină. În epoca modernă, pentru a înlătura aceste neajunsuri, s-a trecut la procedee mai rapide, care au toate la bază o tehnică a fotografierii imaginii de reprodus printr-o plasă (urzeală) foarte deasă. „Documentul" inițial este astfel transformat într-o serie de puncte distincte, imaginea putînd fi reprodusă în acest mod cu multă fidelitate (corectitudinea ei este evident dependentă de numărul de puncte în care a fost descompus „documentul" inițial). Am insistat puțin asupra acestei metode deoarece ea stă (din punct de vedere principial) la baza rezolvării acestei probleme cu ajutorul calculatorului.

Recent, specialiștii au pus la punct un sistem care, pentru prima oară, furnizează o replică fidelă și exactă a gravurii clasice, păstrîndu-și dreptul la modificări pe parcursul lucrului. Așadar, „eroii" acestei aplicații sînt un microcalculator specializat în prelucrarea imaginilor deosebit de performant — ecranul de înaltă definiție (1 024 × 1 024 pixeli) permite afișarea simultană a 4 096 de culori diferite alese dintr-o gamă de ... 16 milioane de nuanțe—,

un procesor specializat în calculul și analiza rapidă a imaginii și, în sfîrșit, un pachet software capabil să conducă procesul de gravare, implementat pe un minicalculator conectat la echipamentul descris mai sus. Imaginile astfel obținute sînt editate pe un imprimator cu eroziune magnetică, ce furnizează documentul final, exploatabil direct la offset. Ce are de făcut operatorul? Să-l numim oare gravor?! În primul rînd, vizualizează documentul (digitizat în prealabil) pe un ecran de înaltă definiție. Ulterior, descompune modelul în mai multe zone pentru care alege „urzeala" (sau caroiajul) potrivită; cu alte cuvinte, în fiecare porțiune astfel definită el alege o anumită orientare a liniilor exact cum face și gravorul, dar nu cu stiletul de gravat, ci cu o tabletă grafică. În funcție de intensitatea zonei, operatorul definește grosimea liniei de trasat, moment în care calculatorul (care, după cum am spus, memorase imaginea digitizată) generează automat toate desenele sau trăsăturile din zona respectivă. Dacă se gravează în culori, operația descrisă mai sus se reia de patru ori, cele patru gravuri monocrome fiind ulterior suprapuse pentru a obține imaginea finală.

La fel de spectaculoasă ca și gravura asistată este utilizarea calculatoarelor în crearea de țesături folosind același sistem de prelucrare a imaginilor. Scopul este de a vizualiza cu o acuratețe perfectă un eșantion de țesătură care să poată fi comparat în orice moment cu oricare altul, pentru a i se stabili calitatea, înainte ca războaiele de țesut să intre în funcțiune. În memoria calculatorului, o bancă de date stochează informațiile cele mai diverse din domeniu : culori de fire, modele de urzeli verticale

şi orizontale etc. Ce face utilizatorul? El alege, de exemplu, firul şi felul urzelii, modul de lucru fiind perfect interactiv: el poate selecta la un moment dat orice combinaţie (fir, culoare, urzeală) şi să le modifice după gustul şi fantezia lui. Sistemul, pe lîngă faptul că intră cu fruntea sus în rîndul creatorilor de modă (de ce nu? !), este şi foarte competent: ştie să deosebească un fir de lînă de unul de bumbac sau de unul sintetic, poate prezenta aceeaşi ţesătură în mai multe variante de culoare şi, în sfîrşit, poate compara maximum trei eşantioane odată, anunţînd concluziile analizei. Avantajele unui astfel de sistem sînt evidente: rapiditate şi economie de orice fel (pe ecran poţi fi oricît de temerar cu combinaţiile şi modelele !).

Conservarea şi restaurarea operelor de artă, iată un alt domeniu înrudit cu cele descrise mai sus care cere competenţă şi răbdare, ştiut fiind faptul că orice greşeală poate produce ireparabilul. Operele de artă, patrimoniu al întregii umanităţi, deşi eterne pentru memoria noastră, au totuşi un duşman implacabil: timpul. El le răpeşte din strălucire şi frumuseţe, la aceasta adăugîndu-se, evident, şi condiţiile de păstrare, nu întotdeauna optime. V-aţi întrebat vreodată ce s-ar întîmpla dacă ceva din faimoasa Gioconda s-ar distruge, anulîndu-i tocmai zîmbetul? Cu siguranţă că lumea ar fi mai tristă ... Deci şi aici intervine din nou calculatorul, folosit ingenios prin punerea la punct a unui procedeu de codificare a unei picturi. Metoda constă în descompunerea picturii într-o serie de elemente foarte fine (pixeli) în interiorul cărora nuanţa de culoare poate fi considerată constantă şi uniformă. Se estimează că o dimensiune de pixel de ordinul a 10^{-9} mm — sau 100 pixeli/mm^2 — este inferioară puterii de discriminare a ochiului uman. Apoi i se atribuie fiecărui

punct o valoare cu scopul de a codifica nuanţa de culoare. Practic, se atribuie o valoare numerică fiecărui nivel de intensitate a culorilor primare (roşu, verde, albastru) conţinut într-un anumit pixel şi prin a căror combinaţie în proporţii diferite rezultă culorile. Volumul de date înregistrat este considerabil; de exemplu, un tablou de 1 m este descompus în 100 milioane de puncte (pixeli), informaţia totală introdusă în calculator fiind de 3 miliarde de biţi. Specialiştii afirmă că acest sistem poate fi folosit în egală măsură şi pentru conservarea şi restaurarea operelor de artă în trei dimensiuni (sculpturi, mobilier), principiul rămînînd acelaşi. Pînă atunci, restaurarea porţiunilor deteriorate din tablourile vechi rămîne o aplicaţie de bază a acestui sistem. Principiul ei este următorul: se calculează o nuanţă neutră, o valoare medie a nuanţelor prezente în părţile intacte, apoi se atribuie o valoare acestora după procedeul expus mai sus. Acest calcul prezintă un avantaj major, şi anume acela că nu ţine cont de impresia subiectivă a restauratorului. Această metodă a fost deja folosită cu succes pe un tablou de Cimabue — restaurat plecînd de la o fotografie—, pînza fiind grav afectată ca urmare a inundaţiilor de la Florenţa din 1966. Valoarea medie a culorii neutre a fost comparată cu nuanţele medii din trei zone de test din părţile mai puţin avariate. Comparaţia a arătat o precizie foarte bună: mai puţin de 5% deviaţie între nuanţele calculate şi culorile reale.

Toate acestea şi încă multe altele sînt cea mai bună dovadă că lumea rece a tehnologiei — fie ea şi de vîrf — face „casă" bună cu arta, muzica şi cu orice alt domeniu al creaţiei artistice.

5.4. Cinematograful asistat de calculator

Deşi mulţi au încercat, nimeni nu a reuşit să explice în totalitate fascinaţia pe care o exercită — de aproape un secol numai! — acea artă fără muză numită CINEMA. S-a vorbit mult şi s-a scris şi mai mult (întocmindu-se nesfîrşite statistici) despre rivalitatea dintre televiziune şi cinema şi despre „inevitabila" cădere în desuet a celui din urmă. Şi totuşi asemenea păsării Phoenix, cinema-ul, chiar dacă a trecut de-a lungul istoriei sale peste perioade mai critice, rămîne o artă veşnic tînără care parcă renaşte de fiecare dată, înarmată cu alte mijloace de expresie, înnobilată cu tehnici noi. Aşa încît mereu acelaşi miracol se produce în întunericul sălii de cinema: pentru cîteva ore, visul pe celuloid devine realitate ...

Deci, din nou calculatorul şi multiplele sale posibilităţi, implicat de această dată nu într-un minunat concert de Ceaikovski sau în recondiţionarea tablourilor celebre, ci în ... realizarea unui film. Cum? Fie memorînd cadrele de filmat, fie pilotînd camere sofisticate, fie trucînd cu abilitate imagini ce par reale; în sfîrşit, calculatorul mai are un rol esenţial (rol ce capătă din ce în ce mai multă importanţă): sinteza de imagini. Care sînt problemele teoretice şi tehnice pe care le ridică crearea şi animarea imaginilor de sinteză? Ce surprize ne rezervă cineaştii prin intermediul acestor camere de filmat virtuale, care sînt calculatoarele? Care este viitorul cinematografului asistat de calculator? Ce impact va avea inteligenţa artificială cu cinema-ul asistat? Întrebări, dileme, ipoteze pe care vom încerca să le exemplificăm în cele ce urmează.

De la inventarea cinematografului, în 1895, de către fraţii Lumière, în viaţa socială a apărut un personaj important: cineastul. El ne-a făcut să rîdem, să plîngem, să iubim, să călătorim între galaxii ... Totul era şi este posibil pentru că el, asemenea unui prestidigitator, ştie cum să creeze iluzia şi visul. Concret, calculatorul a intrat pentru prima oară în lumea filmului nu ca accesoriu tehnic, ci ca ... personaj, protagonist celebru al filmului „2001, Odiseea spaţială", realizat în 1968 de către Stanley Kubrick; vi-l mai amintiţi pe Hall? Dar de atunci încoace, calculatoarele, direct sau indirect, au pătruns inexorabil în viaţa noastră de zi cu zi. Deci şi în realizarea unui film, calculatorul poate juca un rol multiplu, de la memorare şi gestiune pînă la sinteza de imagini. Era într-un fel firesc ca în primul rînd filmele de ficţiune să facă apel la nelimitatele posibilităţi pe care le oferă calculatorul. Argumentul pro era cît se poate de simplu: imaginaţi-vă cam ce decor ar trebui creat în studio pentru un cadru în care un actor trebuie să evolueze în interiorul unei fabuloase nave spaţiale în călătorie printre stele! Complexitatea şi gigantismul unui astfel de decor ar face imposibilă realizarea rentabilă şi rezonabilă a unui film din această categorie. Şi atunci intervine calculatorul. Iată cum: filmările se pot face cu ajutorul machetelor, imaginea finală fiind de fapt rezultatul suprapunerii mai multor secvenţe filmate separat. De exemplu, anumite scene din „Războiul stelelor" de George Lucas au fost rezultatul suprapunerii a zece secvenţe separate! Se pun în acest moment două probleme: coordonarea filmărilor independente şi suprapunerea perfectă a secvenţelor, fără ca trucajul să fie vizibil. Soluţia primei probleme este relativ simplă, ea constînd în utilizarea camerelor de filmat cu memorie; o memorie de imagine, pentru a stoca un cadru şi elementele prezente într-o scenă, şi o memorie a traiectoriilor,

care poate avea 7 parametri (3 pentru a poziţiona centrul de greutate al camerei, 3 pentru axa optică şi unul pentru distanţa focală în tehnicii de zoom). Astfel, o mişcare oarecare, efectuată de către operator, va putea fi înregistrată şi „rejucată" ulterior de către camera singură. Dar mai există şi o altă posibilitate: mişcarea camerei să fie calculată de către un calculator, ceea ce poate permite, de exemplu, unei nave spaţiale să execute o anumită traiectorie. Această modalitate a fost pentru prima oară aplicată la sfîrşitul anilor '60 în „Odiseea ..." şi în „Războiul stelelor", ea avînd o denumire sugestivă, „motion control", şi fiind în prezent o tehnică curentă pentru filmele de ficţiune şi cele publicitare.

Cea de-a doua problemă — a suprapunerii secvenţelor, aşa încît trucajul să nu mai fie vizibil — era şi este încă rezolvată, aplicînd o tehnică numită „blue-mate". În ce constă această tehnică? Actorii trebuie să evolueze pe un fond uniform de culoare, de obicei albastru, de unde şi denumirea tehnicii; apoi, printr-un procedeu oarecare, această culoare este înlocuită cu elemente împrumutate din altă secvenţă (acelea ale decorului, bunăoară); trebuie să spunem că această tehnică este utilizată şi în televiziune pentru a transmite buletinele de ştiri, ce necesită o schimbare continuă a fundalului cu imagini care să concorde cu cele anunţate de către speaker.

Pînă nu demult aceste operaţii de suprapunere se făceau prin procedee optice şi chimice. În prezent, tehnicile de numerizare a imaginilor permit realizarea unor performanţe de multe ori superioare celor „clasice". Imaginile de suprapus sînt introduse într-un calculator sub formă numerică prin intermediul unui analizor de imagini cu baleiaj (scanning). Imaginea trucată, rezultat al superpoziţiei,

este apoi calculată punct cu punct, ceea ce se obţine fiind un trucaj perfect.

Aceste tehnici numerice prezintă două avantaje majore: în primul rînd permit o decupare precisă a imaginilor şi o eliminare a defectelor. În al doilea rînd, imaginile, odată numerizate, pot suferi un tratament mult mai complex decît simpla suprapunere: de exemplu, nimic nu ne împiedică să le deformăm, să le deplasăm într-un spaţiu oarecare tridimensional şi multe altele. Acesta este încă un drum aflat la începuturile lui, insuficient exploatat de cinema, în timp ce televiziunea îl utilizează din plin!

Calculatorul, o virtuală cameră de filmat. În afara celor trecute pe scurt în revistă pînă aici, calculatorul mai are un rol — şi nu dintre cele mici — în lumea filmului: acela de instrument pentru sinteza de imagini. Este foarte greu (să nu zicem imposibil) să filmezi în direct, în interiorul unui motor în mers, sau să faci un „panoramic" în studio de 360°, fără riscul de a filma şi tehnicienii, cablurile de alimentare şi toate celelalte detalii care rămîn de obicei în spatele camerei. Din contră, calculatorul o poate face, şi încă cu mult succes. Imaginile de sinteză sînt „fabricate" piesă cu piesă de către un program specializat. Înainte de a continua, se impune totuşi o precizare: o imagine numerică în alb şi negru este un tablou de numere în care fiecărui pixel i se atribuie un anumit nivel de gri (pe o scară arbitrară), numit luminanţă; pentru a obţine o imagine în culori este suficient să se suprapună mai multe imagini monocrome (roşu, verde, albastru). Rezoluţia spaţială sau definiţia unei imagini numerice este dată de: numărul de linii, numărul de puncte pe linie şi nivelurile de luminanţă (de obicei se lucrează pe 512 linii a cîte 512 puncte, fiecare punct avînd 256 niveluri de luminanţă). Şi cu aceste precizări

legate de performanțele tehnice ale imaginilor sintetizate, vă propunem să facem o scurtă incursiune în ...

5.5. Matematica în „slujba" imaginii

Încă de la început, cîteva probleme se impun a fi luate în considerare : cum pot fi descrise și manipulate obiectele care compun imaginile de sinteză? Cum poți fi sigur că obiectele aflate în afara razei vizuale a camerei nu apar? Cum se poate descrie mișcarea personajelor și a obiectelor într-un anumit cadru? Primele două aspecte se referă la probleme de modelare a obiectelor și a luminii, ultimul aducînd însă în discuție animația, fără de care cuvîntul cinema nu ar avea sens. Să începem cu modelarea : un obiect, pentru a putea fi manipulabil cu ajutorul unui sistem informatic, trebuie să fie descris prin intermediul unui model care îi precizează structura, utilizînd corpuri de bază numite primitive. Metodele cele mai simple sînt cele care se referă la modelarea pe fațete. În acest caz, suprafața obiectului este reprezentată de un eșantion de puncte (calculate sau introduse cu ajutorul unui dispozitiv grafic), puncte care cu cît sînt mai numeroase cu atît fidelitatea descrierii va fi mai bună. Este o metodă care, fără să fie foarte performantă, oferă posibilitatea de a vizualiza ușor unele suprafețe (ea fiind apropiată de cea folosită în experimentarea numerică, numită metoda elementelor finite). În loc de a utiliza primitive plane, mult mai realistă poate fi redarea în cazul în care se folosesc elemente de suprafață curbe. În afara acestor metode există și posibilitatea de modelare folosind primitive volumice. Se alege un anumit număr de corpuri elementare prin a căror

combinație un anumit corp poate fi redat destul de realist. Această tehnică, mult utilizată în CAD, se mai numește și „solid modeling". În afara descrierii suprafețelor și volumelor unui anumit obiect, este de multe ori necesară cunoașterea organizării ierarhice a acestor componente, care este de multe ori recursivă. În cazul corpului uman această descriere ierarhică se traduce prin faptul că este vorba de un „obiect" articulat : este suficient să deplasăm un element oarecare al structurii pentru ca toate celelalte elemente mai simple, subordonate, să urmărească aceeași mișcare (este vorba de o structură arborescentă a elementelor).

Imagini în căutarea realismului. Aceste tehnici de bază sînt cunoscute încă din anii '70, dar deosebirea între CAD și cinema este uriașă și ea se exprimă, de fapt, printr-un singur cuvînt : realismul. În paranteză fie spus, și CAD are din ce în ce mai multă nevoie de realism ! Imaginile sintetizate ale cinematografului computerizat trebuie să-i creeze spectatorului iluzia de real, de filmare pe ... viu. Dar cum se poate reda cu ajutorul primitivelor imaginea unui nor, piscul unui munte, deosebirea dintre lemn și marmură? Tot cu ajutorul matematicii, și anume al geometriei fractale, care propune modele adaptabile acestor obiecte.

Deci am văzut cum poate fi modelat un obiect oarecare. Bine, bine, dar un cadru (ca să nu mai vorbim de o scenă) conține un număr mare de astfel de obiecte luminate diferit, ascunse unele după altele, umbrindu-se reciproc. Poate fi construită pe calculator o astfel de scenă? Da, metoda numindu-se „ray-tracing" (lansarea unei anumite raze de lumină plecînd de la un observator fictiv).

Așa după cum se vede, nu există încă o metodă universală de modelare, care să descrie deopotrivă

expresii faciale, evoluția plantelor, apa, focul, ploaia etc. În stadiul actual al dezvoltării tehnice, imaginile sintetizate, cu mici excepții, nu sînt utilizate ca atare, ci suprapuse peste scene cu actori, cu ajutorul unor tehnici de postproducție.

Problema sintezei de imagini rămîne deocamdată deschisă. Super și hipercalculatoare sînt implicate în prezent în realizarea unor secvențe întregi, o secundă de film presupunînd un număr de operații de ordinul a sute ori miliarde de operații. Aceasta înseamnă că sinteza de imagini este o mare consumatoare de timp de calcul, memorii și puternice baze de date specializate, ceea ce poate conduce la o concluzie interesantă : se impune studiul unor mașini cu o structură specifică, adaptată sintezei de imagini. Specialiștii mai sînt confruntați și cu alte probleme ; una dintre ele se referă la un aspect pur subiectiv : filmările reale sînt făcute cu obiective, care, oricît de perfecționate ar fi, tot au niște defecte foarte mici (aberații, profunzimi de cîmp), în timp ce calculatorul nu le are. Prin suprapunerea celor două imagini, efectul nu este cel scontat, creîndu-se o senzație neplăcută.

Se așteaptă, de asemenea, progrese pe termen lung. Ceea ce lipsește în prezent este un limbaj narativ, care ar permite autorului să „planteze" decorul, să descrie caracterul personajelor și firul scenariului. O astfel de dezvoltare începe să fie posibilă datorită inteligenței artificiale și deci calculatoarelor, care nu mai lucrează cu numere, ci cu idei.

Este clar că aportul calculatorului la mijloacele moderne audiovizuale, în particular în cinematografie, este imens. Viitorul ne va rezerva probabil cele mai neașteptate surprize. Cine poate spune astăzi cu certitudine ceea ce va fi posibil mîine ?

5.6. Televiziunea interactivă — o nouă formă de dialog om-mașină

HDTV, sau televiziunea de înaltă definiție, este menită — după cum se știe — să îmbunătățească în egală măsură atît vizionarea programelor, cît și transmiterea la distanță a semnalului TV. Totuși, în plină expansiune a tehnicii de calcul și a implicării ei în toate domeniile de activitate, era previzibil un impact uriaș cu televiziunea, din care să rezulte perspective deosebit de complexe. O dată ce calculatorul a și intervenit în prelucrarea imaginii, îmbunătățind-o, atunci se pune întrebarea : de ce nu și-ar sintetiza calculatorul propriile lui imagini care să întrunească toate caracteristicile tehnice pentru a intra într-un circuit TV ? Este posibilă — într-un viitor nu prea îndepărtat — o televiziune interactivă care să integreze spectatorul în programul TV ? Care va fi impactul tehnic al televiziunii digitale ? Întrebări cu multiple răspunsuri, unele chiar deosebit de fanteziste, dar care conțin germenele unei adevărate revoluții tehnice în domeniu.

Sinteza de imagini TV — o certitudine. Informatica grafică sau sinteza de imagini de înaltă fidelitate presupune, fără îndoială, existența unor calculatoare puternice adaptate acestui gen de aplicații. Există în prezent realizări notabile în domeniu. Calculatorul LINKS 1 (de proveniență niponă) este o mașină cu arhitectură paralelă, care cuprinde 256 de unități centrale de prelucrare pe 16 biți, construite cu Intel 8 086 și Z 8 000, capabilă să proceseze cu o viteză de ordinul unui giga-flops. Cu ajutorul acestei mașini puternice s-a pus la punct un sistem destinat implementării pe calculatoarele personale a calculului imaginilor după algoritmul

5 — c. 64

Ray Tracing. Specialiștii afirmă că acest sistem va funcționa și pe IBM PS/2 (pe 32 biți cu I 80 386), deci se va bucura de o mare popularitate și accesibilitate. Televiziunea folosește astfel de imagini (uneori chiar și scurtmetraje din categoria artă video), deocamdată ca generice, secvențe publicitare, simulări științifice, cum ar fi cele cartografice și meteorologice. Experții în domeniu sînt de părere că, în cîțiva ani, televiziunea va onora sinteza de imagini cu locul pe care îl merită și nu unul auxiliar, cum este cazul în momentul de față. Realizări notabile s-au înregistrat și în domeniul imaginilor tridimensionale, în strînsă colaborare cu specialiștii în inteligența artificială și sisteme expert, existînd deja filme TV cu profund caracter real al căror autor este calculatorul.

În ultimii ani, la capitolul reușite tehnice s-au înscris și receptoarele TV digitale — ele înseși un fel de calculatoare — ale căror facilități și performanțe sînt limitate doar de imaginație, acestea reprezentînd o perspectivă importantă pentru televiziune. Deocamdată să încercăm să devenim, fie doar cu imaginația, în egală măsură spectatori și realizatori ai unei emisiuni TV; nu, nu este ficțiune, ci un nou mod de abordare a ideii de televiziune.

Televiziunea interactivă. Apariția progresivă a băncilor de date, precum și a serviciilor de tip videotex (acces la baze de date orientate pe probleme practice) a condus la o concluzie foarte interesantă: ecranul TV pilotat de un calculator este un nou și accesibil mijloc de comunicare între realizator și public, deoarece se pot stabili în acest mod un dialog real și o participare directă. Dar mai întîi ce este interactivitatea în general? Ea reprezintă — după cum se știe — posibilitatea de comunicare și decizie la distanță și instantaneu între diferite persoane sau între om și calculator. În acest context este greu de

definit aceeași noțiune și în cadrul sistemelor TV. De exemplu, un magnetoscop cu secvențe adresabile este în mod evident considerat mult mai interactiv decît unul obișnuit. Din punctul de vedere al relației realizator-telespectator, interactivitatea în etapa dezvoltării din plin a microinformaticii, a telematicii și a videocomunicațiilor „dotează" spectatorul cu posibilitatea de „a naviga" în universul artificial al programului TV. El (spectatorul) se servește de ecranul său ca de o lunetă prin care se include într-un anumit cadru, într-un anumit decor; creatorul trece atunci din rolul povestitorului în cel al realizatorului de spații și sunete, oferind spectatorului posibilitatea de a manipula sau de a transforma obiectele din această microlume. Deci realizatorul controlează în egală măsură acțiunea spectatorului în această lume, în care textul, efectele grafice, sunetul, imaginile, animația se pot combina între ele în cele mai diverse moduri. Specialiștii ne asigură că toate acestea nu sînt atît de departe precum par la prima vedere, deoarece în forme mult mai simple interactivitatea există și este din plin folosită.

Să încercăm deci să facem o scurtă incursiune în diferitele moduri de interactivitate:

Interactivitate elementară, redusă la simplă alegere între mai multe elemente (canale TV de exemplu).

Interactivitatea decalată în timp, în care răspunsul sistemului către utilizator nu este instantaneu (instalațiile facsimil pentru presă).

Interactivitatea în timp real, în care alegerea se face instantaneu, dar dintr-un număr limitat de posibilități (de exemplu serviciile de tip videotex, sistemele de învățămînt asistat etc.).

Interactivitatea în timp real complexă, care se caracterizează printr-o creștere nelimitată a numărului de posibilități.

Şi, în sfîrşit, *interactivitatea la timpul viitor*, care înseamnă — pentru sistemele mass-media „fierbinţi" — TV — integrarea spectatorului într-un univers artificial. De exemplu, fiecare dintre paşii spectatorului de acasă produce în receptorul TV un efect specific sonor sau vizual pe ecran ! Şi acesta nu este decît un exemplu modest pentru televiziunea interactivă.

Parafrazînd un bine cunoscut dramaturg italian, putem spune că toate aceste sisteme interactive (bănci de date, sisteme expert, servicii videotex, reţele de teledistribuţie evoluînd spre sisteme participative, învăţămînt asistat, televiziunea interactivă) se îndreaptă spre maturitate, constituindu-se în noi mijloace mass-media în căutare de ... editori !

CAPITOLUL 6

CARE VOR FI MAŞINILE MILENIULUI III?

Referindu-se la noua serie de calculatoare produse de binecunoscuta firmă „IBM", şi numim aici PS/2 (Personal System/2), un ziarist de specialitate afirma că „acesta este începutul sfîrşitului". La ce se referea ? Răspunsul este foarte simplu : cu această serie de sisteme — de altminteri, foarte puternice şi cu performanţe remarcabile în toate variantele lor — se încheie o anumită etapă care vizează în principal concepţia şi arhitectura internă a calculatoarelor. Ce fel de maşini vor lua locul celor existente este greu de estimat. Care va fi calculatorul ultimului deceniu ? Calculatorul optic ? Calculatorul criogenic ? Calculatorul molecular ? Supercalculatorul cu arhitecturi îndrăzneţe ? Calculatorul neuronal ? Ne vom adresa oare în limbaj comun maşinii ? Întrebări, întrebări, foarte multe, încă fără răspuns. Deocamdată, în laboratoare se caută soluţii, unele chiar foarte îndrăzneţe, menite să răspundă neconteniţei lupte între biţi şi secunde, între volumul de calcul şi puterea consumată etc.

6.1. Viitorul a și început : calculatorul optic

În prezent, calculatoarele sînt confruntate cu o problemă foarte dificilă : aceea a volumului din ce în ce mai mare de calcule vectoriale sau scalare pe care trebuie să le execute. Pentru a face față acestei cerințe — și necesități, în același timp —, specialiștii au avut o idee îndrăzneață : să înlocuiască curentul electric — purtător de informație — cu un fascicul de lumină care să îndeplinească un rol similar. S-au realizat deja în laboratoare componente optice care lucrează cu o viteză de ordinul picosecundelor (10^{-12}s) ! Dar de la realizarea în laborator pînă la producția de serie, pe scară industrială, este un drum destul de lung, pe parcursul căruia specialiștii vor trebui să dea un răspuns ferm la întrebarea : *Electronul sau fotonul?*

Ideea de a utiliza fotonii în locul electronilor pentru a trata informația nu este nouă : cercetări în acest sens au început acum mai bine de 10 ani, mai exact în 1974, cînd, în Laboratoarele Bell, s-a pus în evidență proprietatea anumitor dispozitive optice de a se menține în două stări stabile — ca tranzistoarele, — de unde a rezultat posibilitatea de a reprezenta fizic o informație binară. Așa cum o variație a intensității curentului electric, la intrarea unui tranzistor, corespunde unei variații a intensității acestuia la o ieșire, la fel și asemenea dispozitive optice generează un fascicul de lumină (slab sau puternic), în funcție de variația intensității fasciculului luminos primit la intrare. Această „bistabilitate" optică oferă două avantaje majore față de sistemele cu tranzistoare. Primul se referă la viteza de „basculare" a componentelor optice — de ordinul

picosecundelor —, în timp ce la tranzistoarele actuale cele mai rapide același timp de basculare este de ordinul nanosecundelor (10^{-9} s). Al doilea avantaj, deloc neglijabil, are în vedere o importantă proprietate a fotonilor : ei nu interacționează între ei, așa cum este cazul electronilor. Deci un tranzistor optic — „transfazor", cum l-au numit specialiștii — poate culege simultan mai multe fascicule de lumină paralele, de intensități diferite, cu posibilități de comutare independentă în cadrul aceleiași componente. Această facilitate — de neconceput pentru tranzistoarele clasice — poate fi pusă în valoare în calculatoarele cu structură paralelă pe care numeroase echipe de cercetători încearcă să le pună la punct, mai ales pentru domeniul inteligenței artificiale. Mai mult încă, aceste dispozitive nu se limitează numai la două stări stabile : se pot prevedea tranzistoare optice cu trei sau patru stări stabile, ceea ce va avea în viitor o consecință de o mare importanță : vor putea fi imaginate mașini de un tip complet nou, care să nu lucreze ca cele actuale, în logică binară, ci într-una mai complexă. În sfîrșit, dat fiind că fotonii nu interacționează între ei și că lumina se poate deplasa în spațiul liber, furnizează o nouă soluție pentru rezolvarea dificilei probleme a conexiunilor. De exemplu, anumite calculatoare bazate pe structuri paralele (aflate în prezent în studiu) sînt construite în jurul a numeroase procesoare care tratează informația simultan ; dar cum să legi două cîte două sute de mii de procesoare? ! Tehnologia actuală nu permite astfel de conexiuni pe o așchie de siliciu. Și la pledoaria pentru fotoni ar mai fi de adăugat un argument decisiv, spun specialiștii : componentele optice sînt insensibile la radiațiile electromagnetice — contrar circuitelor electronice —, ceea ce le oferă încă un posibil domeniu de

utilizare : prelucrarea informației în medii poluate electromagnetic. Atunci o astfel de superioritate (teoretică) poate avea dubla semnificație a nașterii unui nou tip de calculator, calculatorul optic, și a abandonării tehnologiilor actuale ! Dar, pentru moment, specialiștii nu sînt chiar atît de optimiști, deoarece nu dispun încă de mijloacele tehnologice pentru a egala pe plan tehnic, operațional sau economic, performanțele actuale ale dispozitivelor electronice, chiar dacă laboratoarele sînt în posesia unor realizări notabile în domeniu.

Cercetările actuale, atît în privința arhitecturii calculatoarelor (structuri paralele), cît și în domeniul microelectronicii (înlocuirea siliciului cu arseniura de galiu) nu vor reuși să răspundă în totalitate cerințelor pentru etapa următoare. Și aici intervine, de fapt, rolul opticii care, dacă va reuși să rezolve dificultățile considerabile ce separă încă realizările de laborator de producția de serie, va avea un cuvînt greu de spus în viitor. Și iată de ce : cele mai puternice calculatoare ating în prezent viteza de un miliard de instrucțiuni cu virgulă mobilă pe secundă. Dar anumite aplicații cer o viteză chiar de o mie de ori mai mare (de exemplu, pentru programele de simulare a fenomenelor complexe). Pe de altă parte, arhitectura secvențială a mașinilor actuale implică necesitatea ca instrucțiunile să se execute una după alta. Prin tratare simultană — în paralel — a operațiilor care concură la rezolvarea aceleiași probleme, se poate accelera considerabil execuția. Calculul matriceal, tratarea imaginii, cercetarea rapidă a unei informații într-o bancă de date și numeroase aplicații în domeniul inteligenței artificiale, iată numai cîteva direcții de cercetare care se pretează foarte bine la structuri paralele de calculatoare.

Sîntem deci în măsură să enumerăm cîteva direcții de dezvoltare în care optica va avea un rol important : conexiunile optice în calculatoarele cu arhitectură paralelă, dezvoltarea calculatorului optic hibrid analogic, respectiv numeric (în această mașină, un procesor optic analogic va efectua calculele complexe și un procesor numeric pe cele simple), cercetarea materialelor cu indice de refracție neliniar, interconexiunile optice în spațiul liber (pentru rezolvarea problemei de sincronizare în calculatoarele cu număr mare de procesoare), telecomunicații (modulatoare, repetitoare, detectoare), domeniu în care informația este deja transportată sub formă luminoasă, prin fibra optică, la distanță etc. Așadar, să fie oare lumina viitorul informaticii? Greu de răspuns cu fermitate, deoarece impasurile actuale nu sînt deloc neglijabile. Astfel, componentele optice au un consum însemnat de putere ; în prezent, un bistabil optic necesită cîțiva miliwați pentru a bascula, putere care, cumulată, conduce, pentru un întreg calculator, la o valoare de ordinul waților/secundă, ceea ce este foarte mult. Se pune, de asemenea, problema integrării pe același substrat a unui mare număr de componente optice ; realizările prezentului tind abia să se alinieze nivelului unei scări de integrare de tip LSI (Large Scale Integration), corespunzătoare anilor '70 pentru circuitele electronice produse pe scară industrială. În sfîrșit, realizarea tranzistorului optic este departe de a fi pusă la punct : de abia recent specialiștii au anunțat finalizarea basculantului optic capabil să lucreze la temperatura ambiantă, utilizînd principiul gropilor multiple de potențial într-un aliaj de arsen-galiu și aluminiu ; principala problemă este tocmai acest aliaj format din straturi foarte fine de arseniură de galiu (53 angströmi), alternate cu straturi

de aluminiu aliat cu arseniură de galiu de 56 angströmi.

6.2. Dificila geneză a tranzistorului optic

Funcţionarea echivalentului optic al tranzistorului se bazează pe principiile opticii neliniare puse în evidenţă de apariţia laserului. Ca o regulă generală, reacţiile unui material expus la o sursă de lumină variază după o funcţie liniară dependentă de intensitatea sursei luminoase. Totuşi, expunînd anumite materiale la puternice fascicule laser, s-a observat că indicele lor de refracţie variază în funcţie de intensitatea luminoasă; deci optica neliniară se născuse. Şi, odată cu ea, a apărut ideea următoare: dacă se va dispune de un dispozitiv optic pentru care o uşoară variaţie a unui fascicul incident să modifice suficient indicele de refracţie pentru a conduce la o variaţie a intensităţii fasciculului transmis, atunci se va putea vorbi practic de un bistabil optic, deci de un echivalent al tranzistorului. Atribuind valoarea logică „1" pentru nivelul ridicat al intensităţii şi „0" pentru cel scăzut, se va obţine un dispozitiv capabil să stocheze informaţia şi să execute funcţiile logice „ŞI", „SAU", „NU", deci altfel spus se vor putea construi calculatoare. Dar ce dispozitiv optic se pretează la aceste operaţiuni şi ce materiale dispun de proprietăţile optice neliniare cerute?

Dispozitivul era cunoscut de mult. El a fost inventat în 1896 de către doi fizicieni francezi, Charles Fabry şi Albert Pérot, le poartă numele — interferometrul Fabry-Pérot — şi a fost destinat iniţial să măsoare lungimea de undă pentru lumina

de diferite culori. În prezent el îşi găseşte o aplicaţie neaşteptată în optica neliniară. Imaginaţi-vă două oglinzi aflate la o anumită distanţă în spaţiu una faţă de cealaltă; dacă prima dintre ele este expusă la sursă luminoasă, o parte din fasciculul incident este reflectat, iar cealaltă parte se refractă întîlnind a doua oglindă; aici o parte din fascicul va ieşi din dispozitiv, iar o alta va fi reflectată de către a doua oglindă. Acest fascicul care se va întoarce va interfera cu cel care revine de la prima oglindă, în funcţie de distanţa dintre oglinzi şi indicele de refracţie al mediului. Ţinînd cont de aceşti parametri, fasciculul transmis de dispozitiv va fi mai intens sau mai puţin intens. Mai mult, dacă între oglinzi se plasează un material neliniar, atunci o variaţie mică a intensităţii luminoase incidente provoacă o modificare a indicelui de refracţie al mediului. Se obţine în acest mod un tranzistor optic sau un transfazor, cu două stări stabile, comparabil cu un tranzistor „clasic", dar ca un timp de basculare mult mai scurt.

Ce materiale se pot interpune între cele două oglinzi? A identifica materialele neliniare cele mai eficace constituie una dintre principalele teme ale cercetării în optica actuală. Se cunosc deja numeroase materiale cu proprietăţi neliniare: arseniura de galiu, antimoniura de indiu, sulfura de zinc, niobatul de litiu. Dar, în general, neliniaritatea acestor materiale dispare la temperaturi ridicate, ele trebuind scufundate în azot lichid la 79° K pentru a fi operaţionale. Deci se impunea găsirea unor soluţii noi sau aliaje noi care să învingă acest handicap. Pentru aceasta să facem o mică incursiune într-un strat de valenţă al unui semiconductor în care electronii nu pot avea decît stări discrete de energie; banda de valenţă este separată de banda de conducţie (goală) prin aşa-numita bandă interzisă. Dacă

un foton cu energie suficientă traversează cristalul, el va elibera un electron care va trece în banda de conducţie, lăsînd în locul lui un gol asimilabil unei sarcini pozitive. Electronul şi golul rămas se vor atrage, formînd un „exciton" (o pereche electron-gol legată, care se poate mişca prin cristal transportînd energie de excitaţie, dar nu şi sarcină; energia fotonului necesară pentru a forma această pereche este mai mică decît energia benzii interzise), cu o durată de viaţă foarte scurtă. Energia mică a legăturii excitonilor duce la concluzia că, în general, razele de absorbţie specifice nu sînt observabile decît la temperaturi foarte joase, la care agitaţia termică este foarte slabă. De unde ideea de a căuta o soluţie de funcţionare şi la temperatura ambiantă. Să considerăm, de exemplu, un strat fin de arseniură de galiu între două straturi dintr-un aliaj de arseniură de galiu şi aluminiu; pentru că banda de energie interzisă este mai îngustă în arseniura de galiu decît în aliaj, stratul de AsGa devine o groapă de potenţial în care se găsesc perechi de electroni-goluri şi excitoni. Astfel s-a creat o barieră de potenţial: electronii şi golurile se lovesc de ca şi nu se pot deplasa decît în planul perpendicular pe straturi; dacă acestea sînt destul de fine, golurile şi electronii se apropie, ceea ce duce la creşterea energiei lor de legătură. Prin alternarea unui număr mare de straturi de AsGa şi AlAsGa, se obţin gropi de potenţial multiple în care se observă radiaţii de absorbţie excitonică chiar la temperatura ambiantă. Astfel, în laboratoarele de optică aplicată a fost obţinut un tranzistor optic basculant în timp de o picosecundă la temperatura ambiantă.

Primul pas a fost făcut prin crearea tehnologiei care să permită funcţionarea componentei de bază

(tranzistorul optic) la temperatura ambiantă şi cu randament maxim. Urmează celelalte etape care sînt confruntate încă cu multe probleme. Dar specialiştii şi adepţii siliciului (deci ai tehnologiilor „clasice") au acceptat disputa, anunţînd deja pentru următorii cîţiva ani realizarea unor timpi de basculare de ordinul a 100 de picosecunde — folosind structuri tridimensionale — cu tranzistoare de 10 ori mai rapide decît cele actuale!

6.3. Interlocutor—calculatorul!

A vorbi propriului calculator mai degrabă decît a manipula o tastatură sau un „mouse", iată ceea ce ne va simplifica foarte mult viaţa în viitor... Specialiştii în „recunoaşterea vocală" lucrează de multă vreme, dar cu rezultate limitate. Obstacolul? Imposibil de a disocia complet recunoaşterea cuvîntului de înţelegerea lui, aşa încît cercetătorii se străduiesc să ridice această analiză vocală la un nivel competitiv, folosind mijloacele inteligenţei artificiale.

De la Galaxia Gutenberg la ... Primul calculator care a devenit o adevărată „stea de cinema" şi-a datorat succesul vocii lui HAL — supercalculatorul din filmul „Odiseea spaţială 2001" care a făcut publică puterea informaticii (doar potenţială la acea vreme), a declanşat o dezbatere acerbă în jurul unei întrebări centrale: vor apărea oare maşini mai inteligente decît omul şi capabile să se exprime ca oricare dintre noi în limba cea de toate zilele? Cercetătorii entuziaşti au răspuns un „DA" hotărît: „Să ni se dea mijloacele necesare şi ...". 29 de ani mai tîrziu sîntem totuşi încă departe de această realizare. Dacă un calculator ştie cum să

imite perfect vocea umană, este totuşi foarte puţin capabil „să audă" ceea ce i se spune şi încă şi mai puţin să înţeleagă o limbă naturală. Sinteza vocală — operaţie care constă în a emite, sub forma sunetelor la ieşirea unui calculator, informaţii stocate în memoria sa — a cunoscut progrese importante. Cele mai bune sisteme actuale pot imita vocea umană la perfecţie, pot chiar să comande prozodia frazei (viteza cuvintelor, ton interogativ, expresie de îndoială, de enervare etc.). Numeroase circuite de sinteză vocală integrate pe o „aşchie" de siliciu sînt în prezent comercializate; multe calculatoare personale sînt dotate şi cu sintetizator vocal. Cele mai notabile aplicaţii se dezvoltă cu precădere în telecomunicaţii : *mesagerie vocală* — abonaţii telefonici formează un anumit număr şi la celălalt capăt al firului răspunde vocea sintetică, dar prietenoasă a unui calculator, furnizînd informaţii locale, efectuînd rezervări; *telefoanele şi poşta* — pentru a indica schimbări de numere de telefon sau adrese. Mai mult, un colegiu din California furnizează părinţilor — prin sinteză vocală — rezultatele şcolare ale copiilor lor (ce părere aveţi, dragi elevi ? !), calculatorul fiind capabil să răspundă la 40 de apeluri pe oră. Firma „Hewlett-Packard" difuzează deja un sistem de recunoaştere vocală numit „Office Talk", destinat calculatorului personal HP Vectra şi celor compatibile PC/AT, ce se compune dintr-un program de aplicaţie specific, interfaţa intrare/ieşire şi funcţii de gestiune a telefonului, mesagerie vocală şi agendă electronică, toate acestea accesibile printr-o reţea telefonică normală. Recordul îl deţine, fără îndoială, Aviaţia Federală Americană (FAA) care furnizează celor 800 000 de piloţi de linii comerciale interne informaţiile meteorologice dinaintea zborului, prin intermediul calculatorului; pilotul

tastează pe un telefon indicînd zona geografică a zborului său şi maşina furnizează un răspuns automat cu cele mai recente date meteo, cu o voce sintetică şi egală. Aceste rezultate sînt departe de a fi atinse şi de operaţiunea inversă : recunoaşterea vocală care constă în a introduce date în calculator folosind vocea umană. Dar problema este mult mai complexă deoarece vorbirea este un fenomen extrem de variabil de la un individ la altul.

Dialecte şi intonaţii. Un calculator nu ştie încă să deosebească un cuvînt spus în două dialecte diferite; mai mult, modul de rostire al aceleiaşi persoane variază sensibil dacă persoana este răcită, enervată sau obosită. Majoritatea specialiştilor sînt de acord că recunoaşterea vocală nu poate fi separată de înţelegerea cuvîntului, acesta nefiind reductibil la un model matematic. Numai metodele inteligenţei artificiale vor putea permite un progres în această direcţie. O nouă logică provenind dintr-o altă structură de calculatoare, componente active noi bazate pe alte materiale şi principii de funcţionare, vor mări indiscutabil în viitor posibilităţile calculatorului de a recunoaşte vocea umană cu toate inflexiunile şi particularităţile ei, de a înţelege mesajul cuvintelor indiferent de dialectul vorbit.

Performanţele prezentului sînt însă foarte modeste; sistemul cel mai recent prezentat de IBM este capabil să recunoască cuvintele unui singur interlocutor cu condiţia ca acesta să-şi limiteze vocabularul la 5 000 de cuvinte „învăţate" în prealabil de către calculator; rostirea cuvintelor trebuie făcută cu pauze, constrîngere care poate apărea insignifiantă, dar în timp ea devine foarte obositoare.

În domeniul recunoaşterii vocale este deci clară importanţa tratării informaţiei în timp real. Un

sistem care va „lucra" 5 minute pentru a recunoaşte 2 secunde „vorbite" nu poate prezenta interes. Calculatoarele specializate în recunoaşterea vocală analitică, din cauza volumului mare de date de tratat, au structuri multiprocesor. De exemplu, un sistem actual aflat în studiu este construit în jurul a mii de microprocesoare Motorola 68 000 dintre care numai unul echipează microcalculatorul MacIntosh-Apple. Concluzia : problema centrală — cel puţin pentru impasul actual — nu rezidă în puterea maşinii, ci în pertinenţa metodei de analiză. Sistemele actuale pot recunoaşte în flux continuu de cuvinte numai 60% dintre foneme, ceea ce este insuficient pentru ca mesajul să fie inteligibil. Motivul ? Nu se ştie, cel puţin deocamdată, să se facă trecerea de la analiza acustică la cea lingvistică. De unde rezultă, ca o necesitate, o orientare din ce în ce mai clară către metodele inteligenţei artificiale. Se impun deci formalizarea datelor existente, integrarea într-o bază de cunoştinţe şi construirea unui sistem expert. Aplicaţiile sînt pentru moment relativ modeste, faţă de entuziasmul de acum două-trei decenii : controlul calităţii, pilotajul avioanelor de vînătoare, conducerea autoturismelor, ajutorarea handicapaţilor totali pentru a-şi regăsi o parte din autonomie...

E mult ? E puţin ? În orice caz ar fi hazardat să anunţăm dispariţia ... tastaturii ca echipament de introducere a datelor ! În momentul în care se va pune la punct calculatorul pe postul interlocutorului ideal (atent, tăcut, înţelegător, calm, inteligent), impactul asupra vieţii noastre de zi cu zi va fi foarte mare : omul va putea comunica cu calculatorul, cu robotul, cu automobilul, cu maşinile de spălat, cu aspiratoarele direct. Oare acest impact ne va simplifica existenţa ? Se anunţă oare o îndepărtare de Galaxia Gutenberg ? Unii spun că da ; a şti

să scrii şi să citeşti va fi mai puţin important decît a şti să vorbeşti corect !

Pînă atunci însă mai este. Scrisul şi cititul rămîn un dar frumos al umanităţii în drumul spre cunoaşterea de sine.

6.4. Aventura matematicii şi unealta ei indispensabilă : calculatorul

A „observa" formarea unei galaxii sau interacţiunile moleculare, a prevedea schimbările climaterice sau a testa performanţele unui avion, a „vedea" forma unor virusuri sau a cerceta adîncurile pentru depistarea şi evaluarea zăcămintelor, a sintetiza imagini de o acurateţe comparabilă cu realitatea, toate acestea sînt numai cîteva exemple de posibilităţi oferite în prezent oamenilor de ştiinţă de către calculator — personaj principal al erei informaticii. Datorită metodelor numerice asociate cu tehnica de calcul, cercetătorii pot studia fenomene fizice abstracte care, datorită calculatoarelor, pot fi vizualizate, analizate, simulate. Este saltul uriaş făcut în ultimele patru decenii, deoarece experimentarea numerică, apărută în 1945, odată cu primele calculatoare — maşini universale — este astăzi în plin avînt. A regăsi ordinea matematică în uimitoarea diversitate a fenomenelor reprezintă, în ultimă instanţă, suprema ambiţie a ştiinţei. Noţiunea de derivată ne furnizează viteza instantanee, ecuaţiile diferenţiale ne dau ecuaţiile mişcării, spaţiile neeuclidiene sînt necesare relativităţii, „spinul" formalizează rotaţia particulei, teoria grupurilor organizîndu-i simetria, iată numai cîteva „întîlniri" între matematică şi realitate.

În cele ce urmează vom încerca să pătrundem pentru cîteva clipe dincolo de cortina imaginară după care calculatorul priveşte lumea, mai exact spus, în laboratoarele în care ia naştere atît de controversata „inteligenţă a maşinilor".

Calculatorul, mijloc şi scop în experimentarea numerică. Informatica este acum un termen prea vast şi deci insuficient pentru a delimita de alte discipline ceea ce a fost la început o ocupaţie umană (calculator), atribuită ulterior unei maşini, astăzi omniprezentă. De la primele maşini electronice de calcul — acum „preistorie" veche de 50 de ani — a trecut, de fapt, conform unei ciudate teorii a relativităţii, mult mai mult. Dincolo de cifră, 5 generaţii, se află de fapt marile performanţe : timpul de basculare a componentei de bază — tranzistorul — se măsoară acum în „pico", memoria internă în „mega", microprocesoarele — avînd încorporate peste 250 000 de tranzistoare — lucrează deja pe 32 de biţi în ritmul de neconceput pînă mai ieri de 16 sau 20 MHz, structurile vechi de maşini încep să fie abolite, locul lor fiind luat de arhitecturi paralele, electronul ca suport de transmitere a informaţiei pierde teren în faţa fotonului, mult mai rapid, perifericele, cum ar fi discul compact CD-ROM, stochează o enciclopedie pe o faţă. Cursa avînd deviza „mult mai rapid" este acerbă. În laboratoare se caută în permanenţă altceva, cadenţa noutăţilor fiind greu de imaginat. Aceste maşini, atît de performante, nu ar fi capabile să facă mare lucru dacă nu ar fi „alimentate" cu un soft fără de care o viteză de calcul de ordinul gigaglops (flop = operaţia în virgulă mobilă pe secundă), atinsă în prezent de supercalculatoare precum ETA 10 sau CRAY, nu ar avea sens. Deci să deschidem uşa care separă performanţa tehnică şi spectaculoasă de cea pur intelectuală, bazată pe metode a căror aplicare ar fi fost imposibilă nu mai departe decît la începutul secolului.

Unul dintre obiectivele ştiinţei este de a observa lumea înconjurătoare, de a conecta între ele aceste observaţii cu scopul de a reproduce experimentul, de a explica fenomenul prin modelare şi, în sfîrşit, dacă este cazul, de a-l prevedea. Modelarea este aceea care face apel la precizia calculului matematic : fiecare sistem de studiat este descris prin mărimi caracteristice (coordonate spaţio-temporale, viteză, energie, temperatură, presiune ...), legate între ele prin ecuaţii ; iată ceea ce se numeşte un model matematic. Lucrurile sînt, de fapt, mult mai complicate atunci cînd, pentru o anumită problemă, se poate găsi numai o soluţie formală, insuficientă în realitate pentru o analiză complexă. De exemplu, ecuaţia lui Newton care descrie mişcarea corpurilor cereşti, pentru un sistem format din mai mult decît două corpuri cereşti (chiar dacă ar fi vorba numai de sistemul Pămînt-Lună-Soare), nu se poate rezolva ! Aici intervin două aspecte fără de care ştiinţa modernă nu ar fi făcut atîtea progrese în ultimii 30 de ani ; pe de o parte metodele numerice , iar pe de alta implementarea acestora pe calculatoare — mai exact spus, supercalculatoare — ce ne oferă astăzi posibilitatea de a arunca o privire nouă şi mult îmbogăţită asupra lumii care ne înconjoară şi de a explica fenomene aflate pînă în prezent total în afara percepţiei umane. Ajutaţi de maşini, cercetătorii pot nu numai să rezolve o multitudine de ecuaţii, dar, mai ales, să transforme în imagini soluţiile obţinute, ceea ce le permite să interpreteze mult mai uşor rezultatele. Experimentarea numerică (asocierea dintre vizualizarea şi rezolvarea prin metode numerice) a deschis porţi nebănuite, mărind substanţial domeniul cu-

noașterii umane, de la teoretician pînă la inginer, toată lumea „încredințînd " ecuațiile calculatorului.

Desigur, ideea nu este nouă ; numai punerea ei în aplicare este recentă. Dar ea nu ar fi fost posibilă fără Leibniz și Pascal, Babbage și Ada Lovelace, Howard Aiken (creatorul primului calculator IBM, Mark 1) și echipa Mauchly și Eckert (creatorii lui ENIAC), în sfîrșit, fără von Neuman și Turing, creatorii mașinii care timp de patru generații și vreo 30 de ani a dominat noțiunea de calculator. Aceste nume sînt tot atîtea trepte și jaloane ale unei istorii palpitante și fascinante în același timp, de cucerire a unui teritoriu greu accesibil : inteligența umană.

Înainte de a trece mai departe, se cuvine să facem o scurtă incursiune în lumea mașinilor „von Neumann" (este semnificativ faptul că noile structuri paralele de calculatoare poartă numele generic de „non von Neumann" și poate că acest lucru este suficient pentru a realiza importanța mașinilor inițiale, „ne negate") ; ele cuprind o memorie unică ce stochează date și rezultate, precum și programele, și o unitate de lucru (numită ulterior procesor), destinată să execute instrucțiunile din program una după alta, secvențial, deci pas cu pas. Pornind de la acest principiu de bază, calculatoarele s-au dezvoltat, îmbunătățind și extinzînd memoria internă, cît și unitatea de prelucrare, dar pînă la apariția mașinilor cu structură paralelă acest principiu a rămas în vigoare.

Așadar, un nou concept de programare (efectuarea simultană a mai multor operații sau utilizarea mai multor programe independente — noțiunile de divizare a timpului sau multiprogramare) strîns legat de o arhitectură internă, care să faciliteze și să utilizeze optim tratarea simultană. În acest mod se

întrevedea (încă din 1945) aportul calculatoarelor în „experimentare" folosind metodele numerice și în vizualizarea soluțiilor ecuațiilor.

Înainte de a încheia această prezentare a aventurii matematicii într-un domeniu atît de vast și încă plin de neprevăzut, trebuie să mai subliniem că experimentarea numerică pe calculator nu înlocuiește experiența de laborator, dar îi este complementară. Unele domenii sînt, într-adevăr, inaccesibile laboratoarelor (cum ar fi, de exemplu, evoluția climei sau dinamica atmosferei planetare), iar altele sînt greu de observat sau de controlat (temperaturile apropiate de zero absolut, mișcările moleculare sau atomice). În sfîrșit, experimentarea numerică permite cercetătorilor de a exclude efectele parazite, inevitabile chiar și atunci cînd este vorba de cele mai perfecționate laboratoare.

6.5. Supercalculatoarele — mașinile ultimului deceniu?

Termenul de SUPERCALCULATOR se adaptează perfect cîtorva definiții intuitive. Primele calculatoare cărora li s-a aplicat această „etichetă" au fost IBM Stretch și Univac LARC, amîndouă dezvoltate la sfîrșitul anilor '50, în prezent fiind, bineînțeles, neoperaționale. În cele ce urmează vom încerca să definim mai exact conceptul de supercalculator.

În ultimii 30 de ani se poate considera că viteza de lucru a calculatoarelor s-a dublat în fiecare an, așa fel încît sîntem în prezent confruntați cu viteze de ordinul milioanelor de operații pe secundă ! În timp ce primele mașini aveau o capacitate de memorare de ordinul a 1 000 de cuvinte în memoria principală, supercalculatoarele moderne ajung la

cîteva milioane de cuvinte la care se adaugă conținutul memoriei secundare organizată pe 3 sau 4 niveluri ierarhice; în total, aproximativ 10 miliarde de cuvinte! În aceste condiții, problemele legate de dimensiunile circuitelor (deci și a sistemelor în sine, deoarece trebuie să avem în vedere și echipamentele periferice aferente), puterea consumată, fiabilitatea unui astfel de sistem (există proiecte „fabuloase": 256 000 de procesoare gestionate simultan, iar pînă la sfîrșitul deceniului se estimează că acest număr va fi depășit!), devin deosebit de acute. În aceste condiții, avînd ca punct de plecare calculatorul secvențial, există, firește, mai multe soluții menite să îmbunătățească viteza și randamentul de lucru.

Prima dintre ele se numește *MULTIPROCESAREA*, tehnică utilizată de marea majoritate a producătorilor, în sensul utilizării a două sau mai multor procesoare identice, interconectate între ele, sistemului de operare revenindu-i sarcina de bază. Cîteva exemple: CYBER 170 (CDC) și UNIVAC 1 100/80. Viitorul multiprocesării pare destul de cert datorită nivelului mare de integrare, care va conduce, inevitabil, la micșorarea dimensiunilor procesoarelor și la ieftinirea lor.

PROCESAREA MULTIFUNCȚIONALĂ, ce-a de-a doua soluție, a fost cea care s-a bucurat de succes comercial încă de la apariție; această tehnică a fost utilizată la CDC 6600. O astfel de mașină are o unitate centrală de control (principial desigur) capabilă să gestioneze în același timp mai mult decît un singur procesor, iar procesorul are suficient „soft" pentru a executa mai mult decît o operație o dată. De exemplu, IBM 360/91, care combină procesarea multifuncțională cu cea de tip pipeline (de care ne vom ocupa în continuare), are o structură deosebită: fiecare unitate funcțională poate gestiona

datele, ceea ce oferă posibilitatea extinderii acestei idei în structuri mult mai ample de unități funcționale. Astfel de cercetări au fundamentat mai multe direcții, între care cea numită DATAFLOW-Computation (algoritmii DATAFLOW pot fi reprezentați intuitiv ca niște grafuri în care arcele sînt date, și nodurile sînt operații ce trebuie executate în concordanță cu informația „ajunsă" pe arcul respectiv).

Procesarea de tip *PIPELINE* (cea de-a treia categorie), a fost metoda cu cel mai mare succes; aceasta constă în împărțirea funcțiilor unui calculator în segmente mai mici, permițînd unuia sau mai multor seturi de operanzi să fie procesați simultan. CDC 7600 a fost succesorul îmbunătățit (cu această tehnică) al lui CDC 6600; de asemenea și IBM 360/91 a fost trecut pe această structură; ambele mașini au apărut la sfîrșitul anilor '60. În mijlocul anilor '70 a fost introdus pe piață CRAY-1, cu performanțe remarcabile ceas de 12,5 nano-secunde, deci fiecare operație secvențializată poate fi efectuată cu o viteză teoretică de 80 megaflops. De asemenea, CRAY-1 conține 8 registre, fiecare a cîte 64 de elemente vectoriale. Procesarea pipeline are limitări serioase în creșterea vitezei de execuție, deoarece orice funcție poate fi divizată într-un număr limitat de segmente. Dificultăți principale provin din programul ce trebuie să permită execuția simultană a mai multor secvențe.

În sfîrșit, *PROCESAREA PARALELĂ* este o posibilă soluție pentru rezolvarea dificultății menționate mai sus. Controlul este la unitatea centrală care secvențializează o „colecție" de procesoare identice. Illiac IV conține 64 de procesoare, fiecare capabil să execute operații în virgulă mobilă cu 64 de date diferite; STARAN IV (supercalculatorul

produs de „Good Year Airospace" în anii '70) este o rețea de procesoare seriale, foarte eficace în digitizări de imagini.

Supercalculatoarele de acum 20 de ani erau similare cu microcalculatoarele de azi. Supercalculatoarele de azi operează cu vectori la viteze greu imaginabile. În sfîrșit, supercalculatoarele viitorului vor opera simultan pe rețele multidimensionale ale căror elemente vor fi constituite din morfologii de expresii aritmetice, cu procesare paralelă fiecare, probabil în tehnica pipeline.

Trebuie să mai spunem că viteza unui supercalculator este funcție de viteza de comutare a părților componente și simultaneitatea existentă; prima dintre ele are în vedere performanțele și caracteristicile fizice ale hard-ului propriu-zis; cea de-a doua se referă la structura logică și numerică a algoritmului de executat.

Înainte de a încheia acest scurt paragraf dedicat supercalculatoarelor, ne vom opri la două dintre ele, considerate a fi printre cele mai perfromante ale prezentului: CRAY-2 și ETA-10. Printre mașinile cele mai performante ale momentului, numite și supercalculatoare, este și CRAY-2.

Viteza sa teoretică maximală, atunci cînd toate paralelismele pe care le posedă sînt exploatate la maximum, este superioară unui miliard de operații pe secundă. CRAY-2 este constituit dintr-un procesor de supervizare și patru procesoare de calcul, avînd acces la o memorie de mare capacitate: peste 2 miliarde de octeți. Datorită acestei memorii foarte importante (de 256 de ori mai mare decît cea a lui CRAY -1, comercializat în 1976), cercetătorul va fi eliberat cel puțin pentru un timp de constrîngerile legate de gestiunea discurilor, ceea ce micșorează timpul de execuție și reduce efortul de programare.

Fiecare din cele patru procesoare este, la rîndul său, compus din mai multe unități funcționale independente, pentru operațiile aritmetice și logice pe care le pot lucra simultan. Mai mult, fiecare unitate funcțională este segmentată în subunități, formînd ceea ce se numește o arhitectură pipeline (conductă) și permițînd tratarea simultană, în stadii diferite, a operațiilor, precum o bandă de montaj într-o uzină. Perioada de ceas a unităților funcționale este de 4,1 nanosecunde, de trei ori mai rapidă decît cea de la CRAY-1, astfel încît CRAY-2 poate efectua cîte o înmulțire cu o cadență teoretică de 1 nanosecundă, timp în care lumina străbate 30 cm. Aceste performanțe au fost obținute, între altele, datorită unei împachetări compacte a circuitelor, ceea ce a necesitat răcirea acestora într-un fluid refrigerant; fluidul se numește fluorinert (folosit și ca plasmă sanguină artificială) și determină răcirea circuitelor supraîncălzite, care, în acest mod, lucrează practic la temperatura ambiantă. O altă particularitate esențială a acestei mașini este posibilitatea de a manipula într-o singură instrucțiune un vector cu 64 de componente (corespunzătoare dimensiunilor registrelor de stocare temporară a instrucțiunilor). Calculul unei sume vectoriale de tipul A (i) = B(i) + + C(i) pentru „i" variind de la 1 la 64 se va face deci într-o singură instrucțiune-mașină, în timp ce pe un calculator obișnuit s-ar face în 64 de instrucțiuni. Astfel de mașini (dintre care mai amintim CYBER 205, ETA 10, CRAY-1 și CRAY-XMP de la CDC, VP 200 și VP 400 de la FUJITSU, S-810 de la HITACHI și S×2 de la NEC) se numesc deci și vectoriale. Utilizarea lor trece de multe ori prin faza de a rescrie un anumit algoritm, fază numită și vectorizare sau paralelizare, pentru a o adapta optim unei anumite cerințe. Mai mult, experiența a de-

monstrat că paralelismul în cadrul aceluiași program are limitele sale și că multe dintre metodele numerice nu sînt încă adaptate la acest gen de abordare.

Iată de ce, în prezent, multe cercetări din domeniu sînt îndreptate spre optimizarea algoritmilor, ceea ce va conduce în viitor la un cîștig uimitor de calcul.

ETA 10, supercalculator produs de firma „ETA" („Engineering & Technology Associates" din Saint-Louis), o mică societate creată de către „Control Data Corporation" (CDC), a fost proiectat să execute 10 miliarde de operații aritmetice pe secundă! De zece ori mai mult decît campionul actual — CRAY-2!

În 1966, CDC 6600 calcula, cu viteza fabuloasă la vremea respectivă, un milion de operații pe secundă (1 Mflops); cîțiva ani mai tîrziu, succesorul său CDC 7600 lucra deja de două ori mai repede. CRAY-1 se naște în 1976, avînd înscrisă pe cartea de vizită performanța de 100 milioane de operații aritmetice în virgulă mobilă pe secundă (100 Mflops). Fusese conceput de către un creator genial: Seymour Cray, la numai 4 ani după întemeierea societății „CRAY Research". Următoarele supercalculatoare CRAY 1-XMP și CRAY-2 dețineau deja recordul absolut de putere, putînd atinge 1,2 miliarde de operații pe secundă (1,2 Gflops). Între timp, compania „CDC" a încercat o revanșă: CYBER 205, care, cu toate că procesa 400 Mflops pe secundă, nu a fost totuși un succes, performanțele sale situîndu-se la un nivel excelent pentru calculul vectorial, dar fiind mult reduse pentru calculele scalare.

Din punct de vedere al structurii ETA 10 nu revoluționează în mod deosebit arhitectura predecesorilor săi. Și totuși ... Se știe că o înmulțire, de exemplu, este tratată de un calculator ca o succe-

siune de operații elementare; pînă aici, nimic nou; dar dacă aceste operații sînt executate de microprocesoare specializate, dispuse unul după altul într-o structură pipeline), care efectuează simultan o anumită operație, ei bine, aplicarea acestui principiu poate avea implicații deosebite. Prin alimentarea procesorului înmulțirii cu un flux continuu de date, în ritmul ciclului mașină (7 ns la ETA 10 și 20 ns la CYBER 205), atunci rezultatele vor fi produse cu aceeași viteză! Principiul este similar cu cel al unei linii de fabricat autoturisme; la cîteva minute iese de pe bandă o mașină (deci rezultatul final), dar fiecare vehicul rămîne pe banda de montaj cîteva ore. Analogia este evidentă!

ETA 10 se compune din 2, 4, 6 sau 8 unități centrale legate la o memorie cu o capacitate cuprinsă între 64 și 256 milioane de cuvinte de cîte 64 biți. Fiecare unitate centrală dispune de un procesor vectorial și de unul scalar care lucrează în paralel. Fluxurile de date sînt transferate în „porți" de cîte 75 miliarde de biți între memorie și procesorul vectorial. Sistemul este alimentat cu date de către o „baterie" de unțităi de intrare-ieșire, fiecare dintre ele comparabilă cu cea a unui minicalculator puternic, de nivelul VAX 8800 de exemplu. Conexiunile dintre „intrări-ieșiri" și unitatea centrală sînt realizate prin fibre optice, care permit transmiterea unui flux important de date: 440 Mbiți/s pînă la distanța de 300 m, fără erori. Inovațiile calculatorului ETA 10 constau, de fapt, în opțiunile tehnologice: circuite de tip CMOS, răcire în azot lichid, superintegrarea componentelor și concepție asistată de calculator. Să privim mai în detaliu cele patru puncte ale inovațiilor. Toate supercalculatoarele actuale utilizează circuite electronice de tip ECL (Emitter Coupled Logic), foarte

rapide, dar care nu permit un nivel prea mare de integrare (cîteva sute de porţi logice pe circuit), consumă o putere mare şi disipă multă căldură. Tehnologia CMOS (Complementary Metalic Oxide Semiconductor) este mai puţin rapidă la temperatura ambiantă, dar permite o integrare foarte mare. Mai mult, circuitele CMOS consumă mai puţină energie; unităţile centrale ale lui ETA 10 utilizează circuite integrînd, fiecare, 20 000 de porţi logice şi disipînd 1,5—2 W căldură, mult mai puţin decît circuitele ECL. Un singur inconvenient: nu sînt foarte rapide la temperatura ambiantă, ci numai la temperatură joasă. Dar creatorii lui ETA au rezolvat această problemă scufundîndu-le într-o baie de azot lichid la 7° K. În aceste condiţii viteza lor de execuţie creşte substanţial.

În ce constă concepţia asistată de calculator pentru un ... supercalculator? Inginerii de sistem au pus la punct un model matematic, care a permis simularea lui ETA 10 pe un ansamblu informatic, compus dintr-un CYBER 205 şi două CDC 7 600 înconjurate de o „baterie" de maşini mai puţin puternice. Anul 1989 va aduce cu sine o nouă serie de supercalculatoare ETA, mult mai performante — spun specialiştii: viteza de procesare va atinge în mod real 10 Gflops (faţă de actualul ETA 10 care atinge „doar" 4,5 Gflops), datorită, în primul rînd, îmbunătăţirilor tehnologice. Şi 1990? Greu de anticipat, deoarece tehnologiile noi (cum ar fi aceea a componentelor optice), care vor implica „logici" noi de maşini, sînt deja pe cale să iasă din laborator, îndreptîndu-se spre secţiile de producţie.

Fireşte, se naşte întrebarea: la ce poate fi folosit în prezent un astfel de gigant? În primul rînd la conducerea şi gestionarea unor companii pentru prospecţiuni geologice şi petroliere; de asemenea,

în orice proces industrial care cere simulări şi crearea artificială a anumitor situaţii, cum ar fi studiile de securitate şi de rezistenţă la şocuri şi vibraţii pentru aparatele de zbor, automobile etc., reducîndu-se în acest mod costul şi indicînd posibile soluţii de îmbunătăţire. Chimia organică şi biologia moleculară sînt — în egală măsură — mari consumatoare de supercalculatoare. Un exemplu: datorită lui CYBER 205 a fost pus în evidenţă pentru prima oară un virus, Rhinovirus 14, unul dintre cele care provoacă banalul guturai. Operaţia a constat, iniţial, în a sonda forma virusului cu ajutorul razelor X produse de un sincrotron de înaltă energie, care au traversat virusul cristalizat: informaţiile date de intersecţia razelor X cu virusul au fost transmise lui CYBER 205, care prin calcul a sintetizat o imagine în trei dimensiuni a acestuia. Şi, în sfîrşit, un alt domeniu de utilizare este acela al ... microcalculatoarelor evoluate, create iniţial pe un astfel de gigant — în sensul simulării funcţiilor — şi apoi fabricate efectiv.

Arena competiţiei rămîne în continuare şi CRAY Research anunţă producerea lui CRAY 3, ce foloseşte componente optice pe bază de GaAs; se aşteaptă şi reintrarea companiei „IBM" în categoria „greilor". Cine va cîştiga? Dificil de spus, dar, în orice caz, principalul cîştigător va fi omul a cărui putere de cunoaştere va căpăta noi dimensiuni!

* * *

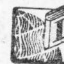
Am evitat intenţionat un posibil titlu de forma „Ultimul capitol". Explicaţia este simplă: într-un astfel de domeniu *NU EXISTĂ* un ultim capitol deoarece în tot momentul roadele studiilor şi cerce-

țărilor dau la iveală noi componente, noi concepții, noi calculatoare, noi materiale. Calculatorul molecular bazat pe molecula de poliacetilenă în care informația se va propaga conformă cu conceptul de undă solitonică, este numai un exemplu de studiu de laborator în care cercetătorii își pun mari speranțe pentru mileniul următor. Calculatorului neuronal i s-au creat deja bazele : există rețele neuronale integrate în care contactele se realizează imitînd modelul uman al dendritelor pentru a transmite fluxul de informații (deci nu prin contact fizic). Se vorbește deja în lumea științifică de generația a VI-a, de calculatorul biologic și de multe altele.

Scurta incursiune pe care v-am propus-o în paginile acestei cărți în lumea calculatoarelor prezentului și, puțin, ale viitorului, a urmărit doar să pună niște întrebări, să deschidă niște porți, nicidecum să dea soluții !

CUPRINS

Redactor: GHEORGHE VLĂSCEANU
Tehnoredactor: OLIMPIU POPA
Coli tipar: 4,25. Bun de tipar: 14.08. 1989.


Cd. 64—I. P. Informația Str. Brezoianu nr. 23 — 25
București